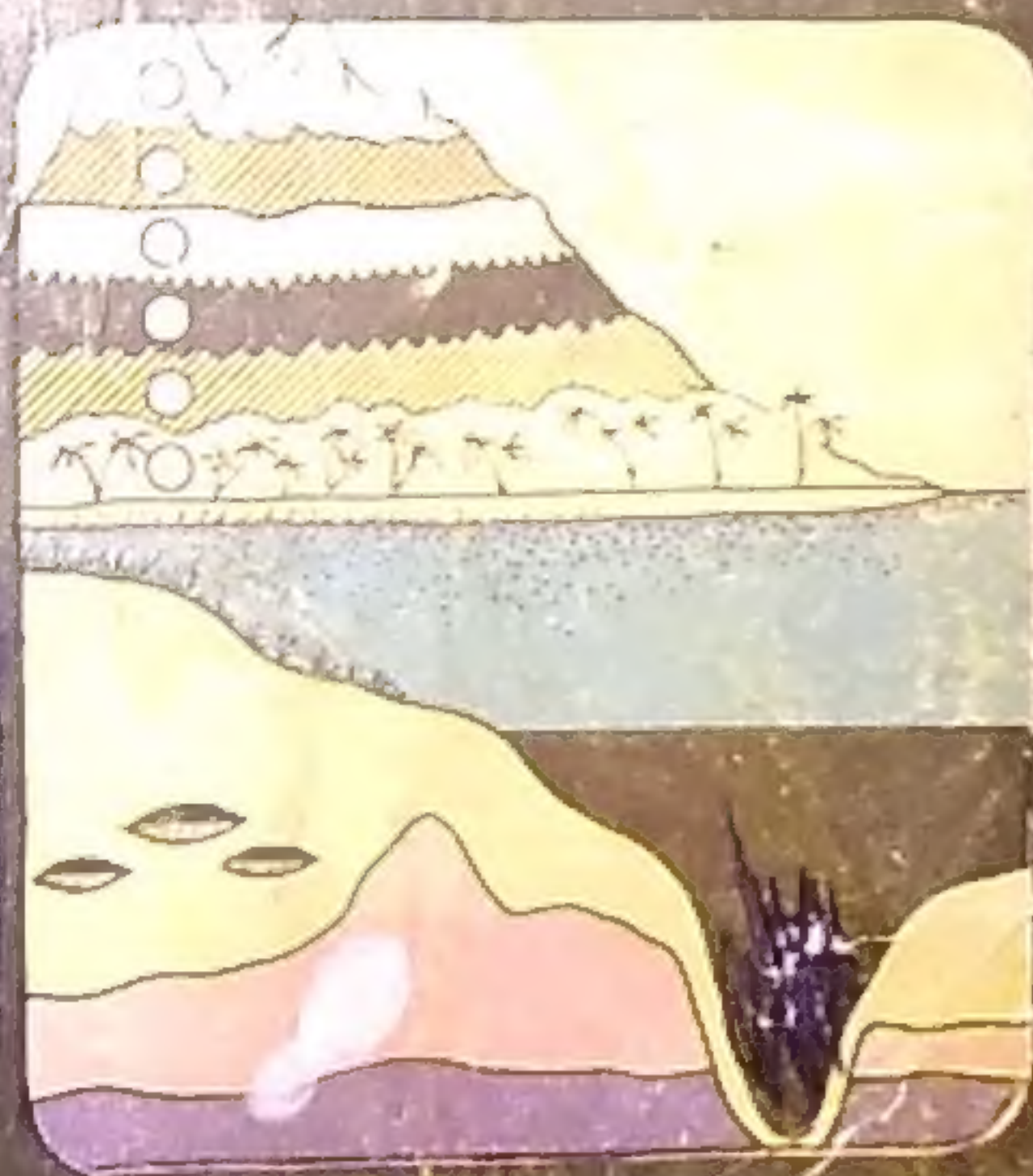


ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ





Различные породы голубей:

1 — дикий скалистый голубь; 2 — дутыш; 3 — яacobинец; 4 — турман; 5 — павлиний голубь.



Различные породы домашних кур и их дикий предок:
1 — банкивские куры (дикне); 2 — белая московская; 3 — первомайская; 4 — ливенская; 5 — родайлонд; 6 — бойцовая порода; 7 — японский петух.



Покровительственная и предупреждающая окраска у насекомых:

1 — бабочка орденская лента с распростертыми крыльями; 2 — она же со сложенными крыльями; 3 — бабочка ванесса С — белое со сложенными крыльями среди листьев; 4 — она же с распростертыми крыльями; 5 — бабочка каллима с распростертыми крыльями; 6 — она же со сложенными крыльями, сидящая на сучке; 7 — паук аргион; 8 — гусеница ольховой стрельчатки; 9 — красноклоп обыкновенный.

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

Учебник для IX и X классов

Под редакцией проф. Ю. И. ПОЛЯНСКОГО



Утвержден Министерством просвещения СССР

Издание 2-е (цветной вариант)



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПРОСВЕЩЕНИЕ» МОСКВА 1971

Ю. И. ПОЛЯНСКИЙ, А. Д. БРАУН, Н. М. ВЕРЗИЛИН,
А. С. ДАНИЛЕВСКИЙ, Л. Н. ЖИНКИН,
В. М. КОРСУНСКАЯ, К. М. СУХАНОВА

Учебник написан коллективом авторов, работа между которыми распределена следующим образом: канд. пед. наук В. М. Корсунской принадлежат главы «Общая характеристика биологии в додарвиновский период», «Учение Ч. Дарвина об эволюции органического мира», «Доказательства и методы изучения эволюции органического мира», «Развитие органического мира», «Происхождение человека»; докт. биол. наук А. Д. Брауном и докт. биол. наук К. М. Сухановой написано «Учение о клетке»; А. Д. Брауном — «Происхождение и начальное развитие жизни на Земле»; проф. Л. Н. Жинкиным — «Размножение и индивидуальное развитие организмов»; проф. Ю. И. Полянским — Введение и «Основы генетики и селекции»; проф. А. С. Данилевскому принадлежит глава «Организм и среда»; чл.-корр. АПН СССР Н. М. Верзилу — «Биосфера и человек».

Общая редакция книги осуществлена проф. Ю. И. Полянским.

<i>Введение</i>	5
---------------------------	---

РАЗДЕЛ I. ЭВОЛЮЦИОННОЕ УЧЕНИЕ

<i>Глава I. Общая характеристика биологии в додарвиновский период</i> . .	10
---	----

1. Развитие описательной ботаники и зоологии (10). 2. Первая теория эволюции органического мира (13). 3. Первые русские эволюционисты (17).

<i>Глава II. Учение Чарлза Дарвина об эволюции органического мира</i> . .	19
---	----

4. Исторические предпосылки возникновения учения Чарлза Дарвина (19). 5. Изменчивость и наследственность (22). 6. Искусственный отбор (26). 7. Борьба за существование (30). 8. Естественный отбор — движущая сила эволюции органического мира (33). 9. Приспособленность организмов и ее относительность (36). 10. Образование новых видов (43). 11. Современная система растений и животных — отображение эволюции (49). 12. Значение теории Дарвина (52).

<i>Глава III. Доказательства и методы изучения эволюции органического мира</i>	55
--	----

13. Сравнительная анатомия (55). 14. Эмбриология (58). 15. Биogeография (63). 16. Палеонтология (66).

<i>Глава IV. Развитие органического мира</i>	70
--	----

17. Море — первичная среда развития жизни (70). 18. Развитие наземных организмов в палеозойскую эру (72). 19. Главные направления органической эволюции (77). 20. Дальнейшее приспособление органического мира к наземной жизни в мезозойскую эру (83). 21. Органический мир в кайнозойскую эру (87).

<i>Глава V. Происхождение человека</i>	92
--	----

22. Доказательства происхождения человека от животных (93). 23. Роль труда в процессе превращения обезьяны в человека (98). 24. Палеонтологические доказательства происхождения человека (102). 25. Единство происхождения человеческих рас (107).

РАЗДЕЛ II. КЛЕТКА И ИНДИВИДУАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ОРГАНИЗМОВ

<i>Глава VI. Учение о клетке</i>	110
--	-----

26. Изучение клетки (110). 27. Строение клетки (113). 28. Цитоплазма и ее органоиды (118). 29. Ядро и его структурные компоненты (128). 30. Одноклеточные организмы (129). 31. Неклеточные организмы (130). 32. Химический состав клетки. Вода. Неорганические составные части (133). 33. Белки (136). 34. Углеводы (144). 35. Жиры и липонды (146). 36. Нуклеиновые кислоты. АТФ (147). 37. Обмен веществ и энергии в клетке (154). 38. Автотрофные и гетеротрофные клетки. Фотосинтез. Хемосинтез (161). 39. Биосинтез белков (166). 40. Авторегуляция химической активности клетки (173). 41. Раздражимость и движение клеток (175).

Глава VII. Происхождение и начальное развитие жизни на Земле . . . 178

42. Определение понятия жизни (178). 43. Отсутствие жизни на Земле в отдаленный период развития планеты (181). 44. Донаучные представления о происхождении жизни (182). 45. Доказательства невозможности самопроизвольного зарождения жизни в современную эпоху (183). 46. Научный период исследования вопроса о происхождении жизни на Земле (185).

Глава VIII. Размножение и индивидуальное развитие организмов . . . 193

47. Митотическое деление клетки (193). 48. Постоянство количества и индивидуальность хромосом (198). 49. Продолжительность жизни, старение и смерть клеток (200). 50. Формы размножения организмов (201). 51. Оплодотворение (207). 52. Развитие оплодотворенного яйца (211).

РАЗДЕЛ III. ОСНОВЫ ГЕНЕТИКИ И СЕЛЕКЦИИ

Глава IX. Основные закономерности передачи наследственных свойств 217

53. Гибридологический метод изучения наследственности (217). 54. Дигбридное и полигибридное скрещивание (224). 55. Явление сцепленного наследования (231). 56. Взаимодействие генов (233). 57. Генетика пола (235).

Глава X. Закономерности изменчивости 240

58. Модификационная изменчивость (240). 59. Мутационная изменчивость (244). 60. Некоторые общие понятия генетики (250). 61. Генетика и эволюционная теория (251).

Глава XI. Селекция растений, животных и микроорганизмов 255

62. Задачи современной селекции (255). 63. Центры многообразия и происхождения культурных растений (257). 64. Селекция растений (259). 65. Полиплоидия и отдаленная гибридизация растений (262). 66. Методы работы И. В. Мичурина (264). 67. Селекция животных (266). 68. Примеры создания высокопродуктивных пород домашних животных (269). 69. Селекция микроорганизмов (271).

Глава XII. Генетика человека 273

70. Методы изучения наследственности человека (273). 71. Генетика человека и медицина (275).

РАЗДЕЛ IV. ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ОРГАНИЗМА И СРЕДЫ

Глава XIII. Организм и среда 278

72. Среда и экологические факторы (278). 73. Основные климатические факторы и их влияние на организм (281). 74. Приспособления растений и животных к сезонному ритму внешних условий (287). 75. Факторы, управляющие сезонным развитием. Фотопериодизм (291). 76. Пищевые взаимоотношения организмов и экологические системы (294). 77. Природные экологические системы (302). 78. Изменения в биоценозах (310).

Глава XIV. Биосфера и человек 317

79. Биосфера и свойства биомассы (317). 80. Круговорот веществ и превращение энергии в биосфере (324). 81. Биосфера и эволюция органического мира (327). 82. Роль человека в биосфере (329). 83. Биология и проблемы техники (332).

ВВЕД

Все
явлени
се бот
отправ
и с ми
роды и
Поздне
Знание
ния ок
тическо
екты се
и физ
охраня
Все
гообраз
нообраз
единяет
они кор
горных
Но
Каковы
низмам
Отве
биологи
организ
В теч
ку жизн
шлого б
ность жи
Многие у
ний жизн
материал
ненной с
основные

Всестороннее изучение живых организмов, исследование явлений жизни составляют предмет биологических наук. В курсе ботаники изучались растительные организмы — их строение, отправления, многообразие. В этом же курсе вы познакомились и с микроорганизмами, играющими важную роль в жизни природы и человека. Курс зоологии был посвящен миру животных. Позднее вы изучали строение и функции человеческого тела. Знание основ этих биологических наук необходимо для понимания окружающей нас природы. Они важны также и для практической деятельности человека. Растения и животные — объекты сельскохозяйственного производства. Без знания анатомии и физиологии не может развиваться медицина, призванная охранять здоровье и жизнь человека.

Все перечисленные выше биологические науки изучают многообразие строения и функций живых организмов. Как ни разнообразны объекты и процессы, изучаемые биологией, их объединяет одно общее, присущее всем им свойство — жизнь. Этим они коренным образом отличаются от тел неживой природы: горных пород, минералов и т. п.

Но что такое жизнь? Чем живое отличается от неживого? Каковы наиболее общие свойства, присущие всем живым организмам?

Ответы на эти вопросы и составляют одну из задач общей биологии — науки, изучающей основные и общие для всех организмов закономерности жизненных явлений.

В течение многих веков ученые не могли разрешить «загадку жизни», в бессилии останавливались перед нею. Для прошлого биологии характерны попытки понять и определить сущность жизни, исходя из признания ее нематериальной природы. Многие ученые XVIII и XIX вв. считали, что своеобразие явлений жизни определяется наличием в организмах некоторого нематериального, духовного начала, которое они называли «жизненной силой». Именно она и определяет, по их мнению, все основные свойства организмов, и в первую очередь целесооб-

разность их строения и их приспособленность к условиям существования. Это направление получило название витализма (*vis vitalis* — жизненная сила, лат.). По существу своему витализм ведет к отказу от познания жизни, а «жизненная сила» есть не что иное, как божественное начало. В нематериальном начале — «жизненной силе» виталисты видят основное качественное отличие живого от неживого. Таким образом, витализм ведет нас к идеалистическому пониманию сущности жизни.

Успехи биологии в XIX в. и открытие Ч. Дарвином закона исторического развития органического мира заставили большую часть биологов отказаться от витализма и искать решение основных биологических проблем путем познания материальных основ жизни.

В этой книге изложены главные достижения общей биологии в познании основных материальных законов жизни.

Органический мир не остается неизменным. Со времени появления жизни на Земле он непрерывно развивается в силу естественных материальных причин. Познание законов исторического развития (эволюции) органического мира — одна из центральных задач общей биологии.

Во всем огромном многообразии мира растений, животных и микроорганизмов обнаружено единство их строения. Оно заключается в том, что в основе строения и развития почти всех организмов лежит биологическая структурная единица — клетка. Единство структуры организмов — одна из важных общеприродных закономерностей, указывающих на общность происхождения органического мира. Изучение структуры и функции клетки — важная задача общей биологии. При изучении клетки особый интерес и значение представляет ее размножение, обеспечивающее материальную преемственность жизни.

Какими путями в длинном ряду поколений клеток и организмов повторяются признаки вида? В чем заключается механизм явления наследственности? В разрешении этой кардинальной проблемы успехи биологии за последнее десятилетие особенно велики. Ученым удалось раскрыть тонкий молекулярный механизм, лежащий в основе замечательной способности клеток и организмов к воспроизведению себе подобных. Эти открытия, находящиеся на границе биологии, химии и физики, можно по их значимости поставить в один ряд с крупнейшими достижениями физики в изучении структуры атома.

Каждый организм тесно связан с окружающей его средой, вне которой он не может существовать. Между организмом и средой осуществляется непрерывный обмен веществ и энергии. При этом организмы обнаруживают замечательную способность к саморегуляции. Это выражается в том, что организм, пока он жив, сохраняет свое строение, химический состав, физические свойства. Хорошо известно, например, что температура тела теплокровных животных, независимо от изменений температуры окружающей среды, остается постоянной. Амебы, живущие в пресной воде, сохраняют постоянными физические свойства

прот
ки.
рует
Е
цель
биол
С
всту
меж
Орга
комп
прир
и т.
зами
ных,
ся об
логие
Ч
получ
форм
сфер
в воз
обяза
в про
возмо
Все з
в этой
По
но с
приро
сорта
цело
сти ор
лугов,
нов, о
живот
культу
Вос
увелич
могут
В
возник
будущ
которы
слород
решени
биолог
Поз
изучить
ственн

протоплазмы, состав солей, осмотическое давление внутри клетки. Этот одноклеточный организм весьма совершенно регулирует обмен веществ и энергии, сохраняя свою целостность.

Вопрос о механизмах саморегуляции отдельных клеток и целых организмов представляет собой одну из проблем общей биологии.

Организмы не существуют в природе изолированно. Они вступают в сложные и разнообразные взаимоотношения как между собой, так и с окружающей их неорганической средой. Организмы всегда входят в состав определенных природных комплексов, вне которых они существовать не могут. Такими природными комплексами являются, например, пруд, лес, луг и т. п. Каждый из таких комплексов, называемых биоценозами, складывается из определенных видов растений, животных, микроорганизмов. Изучением биоценозов также занимается общая биология (тот раздел ее, который называется экологией).

Часть оболочки планеты Земля, населенная организмами, получила название биосферы. Ей принадлежит важная роль в формировании лика Земли, образовании горных пород, атмосферы, гидросферы. Достаточно указать, например, что наличие в воздушной оболочке Земли свободного кислорода всецело обязано жизнедеятельности зеленых растений, выделяющих его в процессе фотосинтеза. Наличие свободного кислорода делает возможным существование современных животных и растений. Все это также относится к общей биологии и будет рассмотрено в этой книге.

Познание биологических законов открывает широкие и, можно сказать, величественные перспективы управления живой природой, изменения ее для блага человека. Создание новых сортов культурных растений и пород домашних животных всецело основывается на законах наследственности и изменчивости организмов. Использование естественных богатств — лесов, лугов, рек — должно опираться на знание биологических законов, определяющих взаимоотношения между организмами и неживой природой. Биология указывает пути создания новых культурных биоценозов.

Вопросы акклиматизации растений и животных, проблема увеличения рыбных богатств в морских и пресных водоемах не могут быть решены без знания законов биологии.

В век проникновения человека в космос перед биологией возникают новые задачи. В космических кораблях недалекого будущего нужно будет создать такие биологические системы, которые обеспечили бы питание космонавтов, снабжение их кислородом, утилизацию (использование) отходов и т. п. Над решением этих проблем в настоящее время упорно работают биологи.

Познание законов жизни очень важно для медицины. Нужно изучить наследственность человека, ибо существует ряд наследственных заболеваний.

Общая биология, изучающая закономерности жизни, тесно связана с другими естественными науками. За последние годы особенно бурно развивается отрасль науки, пограничная между биологией, химией и физикой и получившая название молекулярной биологии. Ее задача — изучение основных жизненных явлений (обмена веществ, наследственности, раздражимости) на уровне молекул, слагающих клетку. Большое значение для познания биологических процессов и закономерностей имеет также изучение физических явлений в клетке и организме (возникновение электрических потенциалов, осмотические явления и др.). Изучением этих вопросов занимается биофизика.

В наше время биология представляет собой быстро развивающуюся науку, достижения которой чрезвычайно важны для будущего человечества. Не случайно некоторые ученые утверждают, что мы вступаем в «век биологии», который приведет человечество к управлению основными законами жизни.

ЭВОЛЮЦИОННОЕ УЧЕНИЕ

Глава I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
БИОЛОГИИ
В ДОДАРВИНОВСКИЙ
ПЕРИОД

Глава II. УЧЕНИЕ ЧАРЛЗА ДАРВИНА
ОБ ЭВОЛЮЦИИ
ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

Глава III. ДОКАЗАТЕЛЬСТВА
И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ
ЭВОЛЮЦИИ
ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

Глава IV. РАЗВИТИЕ
ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

Глава V. ПРОИСХОЖДЕНИЕ
ЧЕЛОВЕКА

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БИОЛОГИИ В ДОДАРВИНОВСКИЙ ПЕРИОД

Органический мир на Земле отличается огромным разнообразием видов. Насчитывают до 1,5 млн. видов животных и до 500 тыс. видов растений. Вместе с тем все живые существа связаны обменом веществ и энергии с окружающей средой, способны к раздражимости, росту и размножению, состоят из одних и тех же химических элементов, при половом размножении начинают развитие из одной клетки.

Как же при таком единстве органического мира объяснить многообразие видов и приспособленность живых существ к условиям жизни? Ответ на этот вопрос дает эволюционное учение, раскрывающее происхождение и развитие органического мира.

Эволюционным учением называют учение о длительном процессе исторического развития живой природы (эволюция — развитие, лат.).

Первую теорию эволюции органического мира предложил в начале XIX в. французский ученый Ж. Б. Ламарк. Дальнейшая разработка эволюционного учения в середине XIX в. принадлежала английскому ученому Чарльзу Дарвину. В связи с этим в истории биологии различают додарвиновский и последарвиновский период.

1. Развитие описательной ботаники и зоологии

Средние века и эпоха Возрождения. В средние века развитие науки происходило крайне медленно, опытное изучение природы преследовалось. Но сведения о растениях и животных, по анатомии человека и медицине все же накапливались.

В XII—XIII вв. возникли первые университеты, которые и стали центрами развития естественнонаучных знаний. В XV—XVI вв. появилась настоятельная потребность в естественнонаучных знаниях, в изучении природных богатств, потому что возникавшая капиталистическая промышленность нуждалась в сырье, а население растущих городов — в продуктах питания.

С открытием новых стран и островов в Европу стали привозить неизвестные до того времени продовольственные, лекарственные, декоративные, пряные и другие растения, а также богатые коллекции животных. Во многих городах были созданы ботанические сады, оранжереи, музеи. В результате накопился огромный материал по описанию растений и животных. Изобретение микроскопа в начале XVII в. привело к открытию микроорганизмов, клеточного строения организмов, сперматозоидов и яйцеклеток. Успешно развивались и точные науки.

няв за единицу классификации вид, Линней объединил сходные виды в роды, сходные роды — в отряды, а отряды — в классы. (Сравните с известными вам современными систематическими категориями. В чем разница?) При этом Линней использовал предложенный его предшественниками принцип двойных латинских названий. Например, чина луговая — *Lathyrus pratensis*, чина лесная — *Lathyrus silvestris*, собака домашняя — *Canis familiaris*, собака-волк — *Canis lupus*. Название рода является общим для всех видов, которые он объединяет: чина — *Lathyrus*, собака — *Canis*. Видовые названия могут повторяться в разных родах; принцип двойных названий экономный, так как требует особых названий только для родов и поэтому сохраняется в систематике по настоящее время.

Всю природу Линней разделил на три царства: минералов, растений и животных. Царство растений он распределил в 24 класса на основании 1—2 признаков, например по числу, длине или характеру срастания тычинок. В результате многие далекие друг от друга в систематическом отношении растения оказались в одном классе, а родственные — в разных. Например, морковь и смородина отнесены к классу пяти тычиновых, поскольку у них по 5 тычинок. На самом деле эти растения принадлежат к разным семействам. морковь — к семейству зонтичных, смородина — к семейству камнеломковых. Манжетку (сем. розоцветных) и повилку (сем. повиликовых) он отнес к классу четырех тычиновых, так как у них по 4 тычинки.

Царство животных Линней разделил по строению кровеносной системы таким образом:

1. Четвероногие	} Первая ступень	Сердце с двумя желудочками
2. Птицы		
3. Гады	} Вторая ступень	Сердце с одним желудочком
4. Рыбы		
5. Насекомые	} Третья ступень	Холодная белая жидкость вместо крови
6. Черви		

Линней правильно выделил классы млекопитающих, птиц и рыб. Но он объединил в одном классе «Гады» пресмыкающихся и земноводных, тогда как они относятся к разным классам. В класс «Черви» попали почти все типы беспозвоночных. Классификация животных по одному признаку привела к ошибкам. Линней объединил в один отряд ленивца, муравьеда и слона по признаку отсутствия резцов, не зная, что бивни и есть разросшиеся верхние резцы. На самом деле слон относится к отряду хоботных, а ленивец и муравьед к отряду неполнозубых. По сходству в строении клюва курица и страус попали в один отряд, тогда как по совокупности признаков они принадлежат к разным подклассам птиц (килегрудых и бескилевых).

Линней верно поместил в один отряд человека и обезьяну на основании сходства в их строении, хотя даже мысли о сходстве человека с животными тогда считались преступными.

Линней понимал искусственность предложенной им системы и стремился к созданию естественной, т. е. такой, которая отражала бы действительно существующие в природе систематические группы растений и животных. При помощи естественной системы он, как и большинство ученых той эпохи, надеялся раскрыть план природы, по которому ее создал творец. Эти ложные по своему существу представления тем не менее заставляли ученых искать естественную систему.

Значение трудов Линнея в том, что он предложил простую систему растений и животных, применил ясный и удобный принцип двойных названий, описал около 1200 родов и более 8000 видов растений. Он провел реформу в ботанической литературе, установив до 1000 терминов, многие из которых предложил впервые.

Линней и его последователи провели огромную работу по изучению и систематизации разрозненного фактического материала, накопленного их предшественниками. Так была заложена научная основа для дальнейшего изучения природы.

Ранние эволюционные воззрения. К концу XVIII в. во многом изменились общественно-политические взгляды, особенно во Франции. Рост революционных идей, французская революция, развитие капиталистических форм производства, научные открытия — все это подрывало старые, метафизические представления о неизменности природы и общества. В произведениях многих ученых появились высказывания о происхождении современных видов растений и животных от далеких предков. Во Франции такие идеи принадлежали Жоржу Бюффону, в Англии — Эразму Дарвину (деду Чарлза Дарвина). В начале XIX в. замечательный французский ученый Жан Батист Ламарк предложил первую эволюционную теорию.

- ? 1. Дайте характеристику метафизического мировоззрения. 2. Приведите примеры видов растений, принадлежащих к одному роду.
- ✓ 3. Запишите в тетради современные систематические категории, применяемые для классификации растений и животных. 4. В чем значение трудов Линнея для дальнейшего развития науки?

2. Первая теория эволюции органического мира

В отличие от большинства натуралистов XVIII в., занимавшихся описанием и классификацией видов растений и животных, Ламарк (1744—1829) создал эволюционную теорию, которую изложил в труде «Философия зоологии» (1809).

Изменяемость видов. Ламарк отрицал метафизические идеи о постоянстве и неизменности видов. Он утверждал, что виды изменяются, но крайне медленно и потому незаметно. Это положение снимало самый веский аргумент, выдвигавшийся сторон-

никами постоянства видов в защиту их взглядов: отсутствие видимых изменений видов за последние 5—6 тыс. лет.

Занятия систематикой привели Ламарка к выводу об отсутствии резких границ между видами. Незаметными переходами виды связаны между собой. Часто бывает трудно разграничить некоторые виды дневных и ночных бабочек, мух, жуков-усачей или виды осок, молочаев, вересков и т. д. В результате живая природа представлялась Ламарку как ряды непрерывно изменяющихся особей, которые человек лишь в воображении объединяет в виды. Так, смело отвергнув идею постоянства видов, Ламарк стал ошибочно отрицать сам факт наличия их в природе; в его представлении отрицание неизменности видов слилось с отрицанием их реальности.

Однако впоследствии он пришел к правильному пониманию вида: виды действительно существуют в природе, но не вечно, а в течение определенных промежутков времени, т. е. они относительно постоянны.

Располагая организмы в системе по возрастающей сложности строения, Ламарк впервые в науке пришел к важному эволюционному выводу: *органический мир развивался от простейших форм жизни к высшим по естественным законам*. Он первым употребил термины «родство», «родственные связи» для обозначения единства происхождения органического мира.

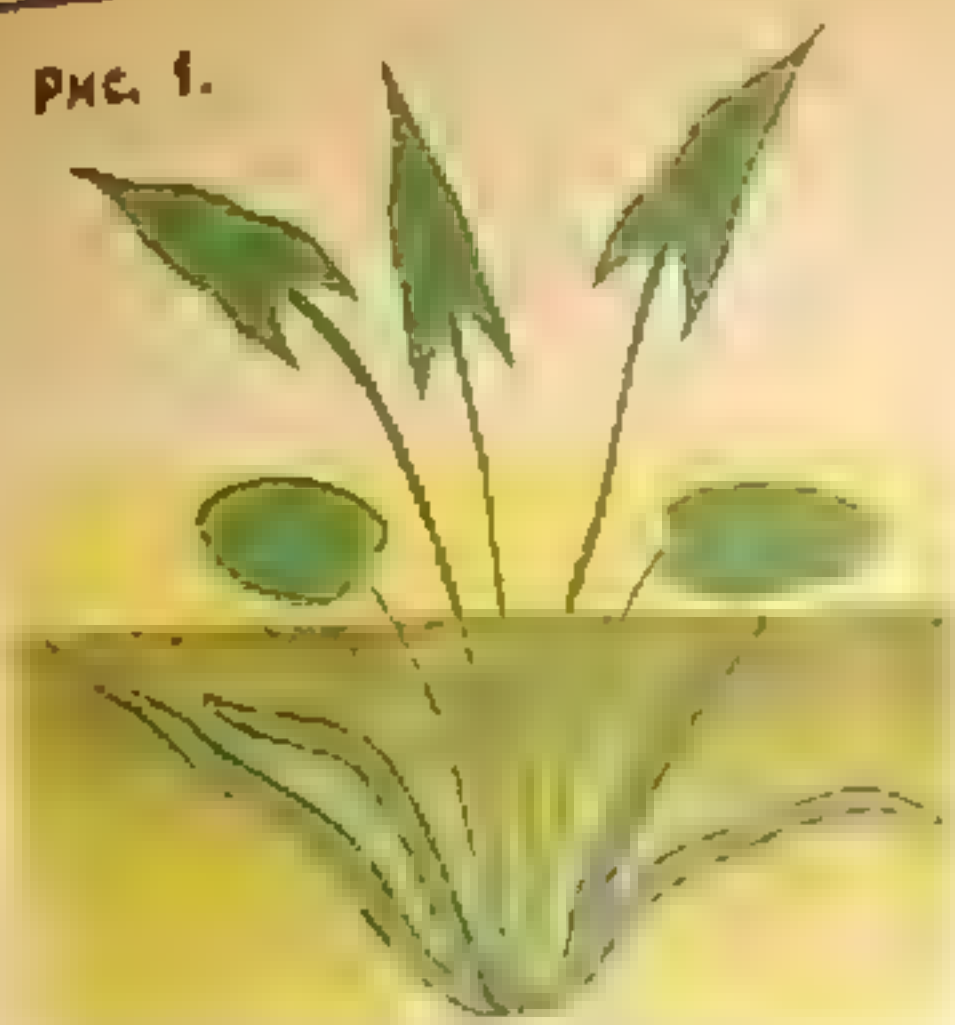
Движущие силы эволюционного процесса. Признав изменимость видов, Ламарк выдвинул вопрос: каковы же движущие силы, т. е. факторы, эволюционного процесса?

Проделанная Ламарком работа по систематике растений и животных привела его к мысли, что организмы следует располагать в системе как ступени лестницы, изображающей исторический путь развития живой природы от низкоорганизованных форм жизни к высокоорганизованным. В своей системе Ламарк разделил животный мир на позвоночных и беспозвоночных и сгруппировал их в 14 классов. Эти классы он разместил на шести ступенях: на низшей — инфузории и полипы, на высшей — птицы и млекопитающие. Каждая следующая, более высокая ступень характеризуется усложнением в строении основных систем органов — нервной и кровеносной. Ступенчатый ряд усложнения организации существует и в растительном мире.

Постепенное повышение организации живых существ в процессе эволюции Ламарк назвал *градацией* (восхождение — лат.). Принцип градации, выдвинутый Ламарком, правильно отображает путь исторического развития живой природы от простого к сложному, от низшего к высшему. В этом большая заслуга ученого.

Но Ламарк не смог материалистически объяснить причины градации. По его представлениям, все живые существа обладают врожденным внутренним стремлением к совершенствованию своей организации, к прогрессу как высшей цели, изначально заложенной в них. В понимании Ламарка историческое развитие от простого к сложному, т. е. градация, является результа-

рис. 1.



Стрелолист.



Круглолистный колокольчик.

том внутреннего стремления растений к прогрессу, града-
ция — непреложным законом природы, а законный теоретиче-

Таким образом, приспособление растений к среде обитания по
мнению Ламарка — результат действия внутренних сил, а не
гессу. Другая точка зрения — это процесс —
влияние внешней среды на развитие растений, что в природе наблюдается.
природе наблюдается, что растения, живущие в по-
вильность градиента. Если же растение находится в по-
лах одной ступени градиента, то оно не может приспособиться к таким
условиям жизни в окружающей внешней среде.

Внешняя среда (температура, влажность, свет и т. д.) оказывает сильное
воздействие на растения и животных. Ламарк приводит
такие примеры. Если весной в саду сажать растения, то они плохо
вы плохо растут, весной с пересадкой в саду и дождливых
дней вызывает бурный рост деревьев. Если же в саду сажать
ных условий в саду, растения растут плохо, а в саду сажать
ют шиш и колоски, а другие растения в саду растут.

Примеры Ламарка можно привести много. Рис. 1. Расте-
ние стрелолист имеет три вида листьев: подводные длинные и
тонкие без черешка, плавающие на поверхности воды пластин-
чато-овальные, надводные с черешком, напоминающие на-
конечник стрелы. На рисунке изображено растение круглолист-
ный колокольчик один экземпляр произрастал на лугу, дру-
гой — в тенистом лесу. Сравните их и отметьте различие.

Приспособления у животных возникают, по мнению
Ламарка, косвенным путем, с участием нервной системы. Из-
менилась внешняя среда — и у животных стали появляться но-
вые потребности. Если новые условия действуют длительно, то
животные приобретают соответствующие привычки. При этом
одни органы упражняются больше, другие меньше или совсем
бездействуют. Орган, усиленно действующий, развивается силь-
нее, становится крепче, а орган, мало применяемый в течение
длительного времени, постепенно атрофируется. Измене-

Рис. 2.



Жирафа.



Ноги водоплавающих птиц

ния, приобретенные организмом в продолжение жизни при последовательном повторении во многих поколениях, передаются по наследству.

Все организмы, полагал Ламарк, под воздействием внешней среды приобретают только полезные в данных условиях признаки. Любое изменение во внешней среде обязательно вызывает у организмов только адекватные изменения, т. е. такие, которые соответствуют изменившимся условиям и поэтому полезны для живых существ. При длительном воздействии новых условий среды адекватные им изменения организмов передаются по наследству последующим поколениям.

Способность организмов целесообразно отвечать на воздействия внешней среды Ламарк считал врожденным свойством.

Вот примеры Ламарка (рис. 2): плавательная перепонка между пальцами у водоплавающих птиц образовалась благодаря растягиванию кожи. Отсутствие ног у змей он объясняет привычкой вытя-

гивать тело при ползании по земле, не употребляя конечностей; длинные передние ноги и шею у жирафы — постоянными усилиями дотянуться до листьев на деревьях.

Ламарк правильно отмечал воздействие условий внешней среды как причину изменений растений и животных. Но его объяснение многообразия видов и их приспособленности к конкретным условиям неверно: обязательное появление только полезных изменений и наследование приобретенных признаков не подтвердилось дальнейшими исследованиями ученых.

Оценка теории Ламарка. Честь создания первой целостной теории происхождения видов на основании естественных законов принадлежит Ламарку. Он противопоставил революционные идеи изменчивости и исторического развития живой природы реакционной идее постоянства и неизменности.

Ламарк правильно представлял общую картину исторического развития органического мира.

Один
онного
дать и
не раз
Ламар
якобы
привод
сил, т
мов из
тать то
изначал
зательс
зались
Ита
ковы д
встали
объясн
ющей с
шение с

? 1.
2. 1
вых
об
4. 1

3. Пер

Русс
рые уче
ния о пр
М. В
рию с е
ствова
нимал ж
целое. Д
и измене
исхожде
отпечатк
А. Н.
ческие п
вую и не
развиваю
ных сил.
ние, реч
считал р
го к сло
сродствен
меняемос

Однако для решения вопроса о движущих силах эволюционного процесса науке не доставало материалов; их не могло дать и сельское хозяйство Франции, стоявшее на низком уровне развития. И вопрос о движущих силах эволюции был решен Ламарком неправильно. Внутреннее стремление к прогрессу, якобы заложенное у организмов самой природой, неизбежно приводит к признанию каких-то высших, сверхъестественных сил, творца. Утверждение о врожденной способности организмов изменяться лишь адекватно изменениям среды и приобретать только полезные признаки связано с представлением об изначальной целесообразности (стр. 11). Таким образом, доказательства эволюционной теории, выдвинутые Ламарком, оказались несостоятельными и она не была принята.

Итак, наука XVIII — начала XIX в. не могла объяснить, каковы движущие силы развития органического мира. Перед нею встали вопросы: 1) как объяснить многообразие видов? 2) Как объяснить приспособленность организмов к условиям окружающей среды? 3) Почему в процессе эволюции происходит повышение организации живых существ?

- ? 1. Что считал Ламарк движущими силами в эволюционном процессе?
2. Как объяснял Ламарк многообразие видов и приспособленность живых существ к конкретным условиям окружающей среды? 3. Каково общее направление эволюционного процесса, по мнению Ламарка?
4. Какую оценку следует дать теории Ламарка?

3. Первые русские эволюционисты

Русские ученые XVIII в. В России уже в XVIII в. некоторые ученые и философы развивали эволюционные представления о природе.

М. В. Ломоносов (1711—1765) считал основой мира материю с ее свойствами движения и развития. Вопреки господствовавшим тогда метафизическим воззрениям (стр. 11) он понимал живую и неживую природу как единое развивающееся целое. Для доказательства связей между явлениями природы и изменений в ней Ломоносов указывал на органическое происхождение торфа, каменного угля и нефти, на окаменелости и отпечатки ранее обитавших на Земле растений и животных.

А. Н. Радищев (1749—1802) также опровергал метафизические представления о природе, рассматривая ее всю — живую и неживую — как единое целое общего происхождения, развивающееся без вмешательства каких-либо сверхъестественных сил. Самые сложные явления, включая человеческое сознание, речь, мышление, способность к общественной жизни, он считал результатом постепенного развития природы от простого к сложному. Радищев называл человека «единоутробным сродственником всему на земле живущему», подчеркивал изменимость организмов в зависимости от воздействий внешней

среды. Радищев ссылался на факты акклиматизации растений и животных как доказательства их изменчивости.

Афанасий Каверзнев (конец XVIII — начало XIX в.) в произведении «О перерождении животных» утверждал, что виды действительно существуют в природе, но они изменчивы. Факторами изменчивости видов являются изменения окружающей среды: пищи, климата, температуры, влажности, рельефа и др. Он поставил вопрос о происхождении видов один из другого и о их родстве. Свои рассуждения Каверзнев подтверждал примерами из практики человека по выведению пород животных.

Русские эволюционисты XIX в. По сравнению с XVIII в. число сторонников эволюционных воззрений в XIX в. значительно возросло. В поддержку эволюционной идеи выступили некоторые философы и писатели, особенно революционные демократы.

К. Ф. Рулье (1814—1858), зоолог, резко критиковал метафизические идеи о неизменяемости и постоянстве видов, а также господствовавшее тогда в зоологии описательное направление. За 10—15 лет до выхода в свет сочинения Дарвина «Происхождение видов» он убедительно писал об историческом развитии природы, высказывая идеи, сходные с воззрениями Ламарка. Все в живой и неживой природе находится во взаимных отношениях. Любой организм, испытывая действие окружающих условий, изменяется и в свою очередь вызывает изменение внешней среды. С изменением среды или происходит приспособление к ней организмов, или они погибают. В отличие от Ламарка Рулье отмечал факты вытеснения одних видов другими и вымирания их в результате борьбы за область питания. Таким образом, он связывал происхождение видов с борьбой за существование. Высоко оценивая эволюционное учение Ламарка, Рулье не признавал положения о внутреннем стремлении организмов к прогрессу (стр. 15).

Для доказательства эволюции Рулье главным образом использовал исследования ископаемых остатков животных, сравнительные данные о строении современных животных, их зародышевом развитии и данные сельского хозяйства.

А. И. Герцен (1812—1870) в работах «Дилетантизм в науке» и «Письма об изучении природы» писал о необходимости изучать происхождение организмов, их родственные связи и рассматривать строение животных в единстве с физиологическими особенностями. Психическую деятельность следует также изучать в развитии — от низших типов и классов до высших, включая человека. Главные задачи натуралиста — вскрыть причины единства органического мира при всем его многообразии, объяснить его происхождение.

В. И. Ленин оценивал воззрения Герцена на развитие природы как материалистические.

1. Расскажите об эволюционных воззрениях К. Ф. Рулье.
2. Что общего следует отметить между взглядами Рулье и Ламарка?
3. Чем отличается объяснение происхождения видов по Ламарку и по Рулье?

УЧЕНИЕ ЧАРЛЗА ДАРВИНА ОБ ЭВОЛЮЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

Главный труд Чарлза Дарвина называется «Происхождение видов путем естественного отбора или сохранения благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь» (1859). Это название отражает основную проблему, рассматриваемую Дарвином, — вид как историческое явление. Каждый вид возникает, развивается и существует, пока не изменятся условия жизни, при их изменении вид или постепенно вымирает, или сам изменяется, давая начало новым видам.

Что же такое вид? В основе современного определения вида лежит дарвиновское понимание его.

Вид — это совокупность особей, обладающих наследственным сходством внешнего и внутреннего строения, физиологических функций, способностью к скрещиванию и воспроизведению, приспособленностью к определенным условиям жизни и расселенных в природе на определенной территории (ареале).

Учение Чарлза Дарвина об эволюции органического мира вскрывает три основных взаимосвязанных фактора: изменчивость, наследственность и отбор. Наследственность доставляет материал для эволюционного процесса — индивидуальные наследственные изменения организмов. На основе наследственной изменчивости в процессе отбора образуются виды, приспособленные к различным определенным условиям жизни, что и приводит к многообразию видов.

Чарлз Дарвин сначала рассматривал образование пород домашних животных и сортов культурных растений, а потом виды в их естественном состоянии. Он показал, что при таком подходе его идеи будут более доказательными, так как практикам хорошо известно, как получать новые породы и сорта.

Учение Дарвина в корне подрывало метафизические представления о постоянстве и неизменности видов и о сотворении их богом. Это учение стало основой для дальнейшего развития науки об эволюции органического мира, а также для всех биологических наук.

4. Исторические предпосылки возникновения учения Чарлза Дарвина

Общественно-экономические предпосылки. В первой половине XIX в. Англия стала самой передовой капиталистической страной, с высоким уровнем развития промышленности и сельского хозяйства. За счет разорения мелких собственников земля сосредоточивалась в руках крупных землевладельцев. Спрос

промышленности на животное сырье и на продукты питания способствовал росту животноводства. Английские скотоводы добились исключительных успехов в выведении новых пород овец, свиней, крупного рогатого скота, кур и т. д. Крупные землевладельцы выводили многочисленные породы охотничьих собак, рысистых и скаковых лошадей, голубей, представлявших спортивный интерес. Были получены также новые сорта растений: зерновых, овощных, декоративных, ягодных и др. Практика животноводов и растениеводов убедительно показывала, что породы домашних животных и сорта культурных растений изменчивы и создаются человеком, а не богом.

Успехи наук. В конце XVIII — начале XIX в. успехи наук, по образному выражению Энгельса, пробили «бреши» в метафизическом воззрении на природу. В астрономии появились гипотезы о происхождении солнечной системы из газообразной туманности. Геологи обнаружили последовательное образование осадочных слоев — значит, земная кора развивалась исторически. В химии стало известно, что живая и неживая природа состоит из одних и тех же химических элементов; физики открыли закон превращения энергии.

Среди биологических наук систематика в это время занимала по-прежнему ведущее место. Значительно обогатились научные знания о видах животных и растений. Систематики пришли к выводу о существовании естественных групп организмов в природе. Систему стали рассматривать как отображение различной степени сходства естественных групп между собой и соподчинения низших систематических групп высшим, что неизбежно приводило к мысли о родственных связях между систематическими группами.

В морфологии и анатомии благодаря сравнительному методу исследований получило широкое признание мнение о наличии у многих животных единого плана как в общем строении тела, так и отдельных органов.

Сравнительно-эмбриологическими исследованиями было обнаружено поразительное сходство ранних стадий развития зародышей позвоночных и даже животных, принадлежащих к разным типам.

Открытие клетки и создание клеточной теории зоологом Т. Шванном (1838—1839) дало веское доказательство единства всего живого — сходство строения животной и растительной клеток.

Яркие факты, свидетельствующие об изменчивости видов, доставила палеонтология. На Земле низшие формы последовательно сменялись высшими: в давнопрошедшие времена Землю населяли другие виды животных и растений, не похожие на современных.

Все эти открытия никак не согласовывались с учением о неизменяемости органического мира и сотворении его богом.

Таким образом, успехи науки, выведение новых пород животных и сортов растений, материалы заморских экспедиций —



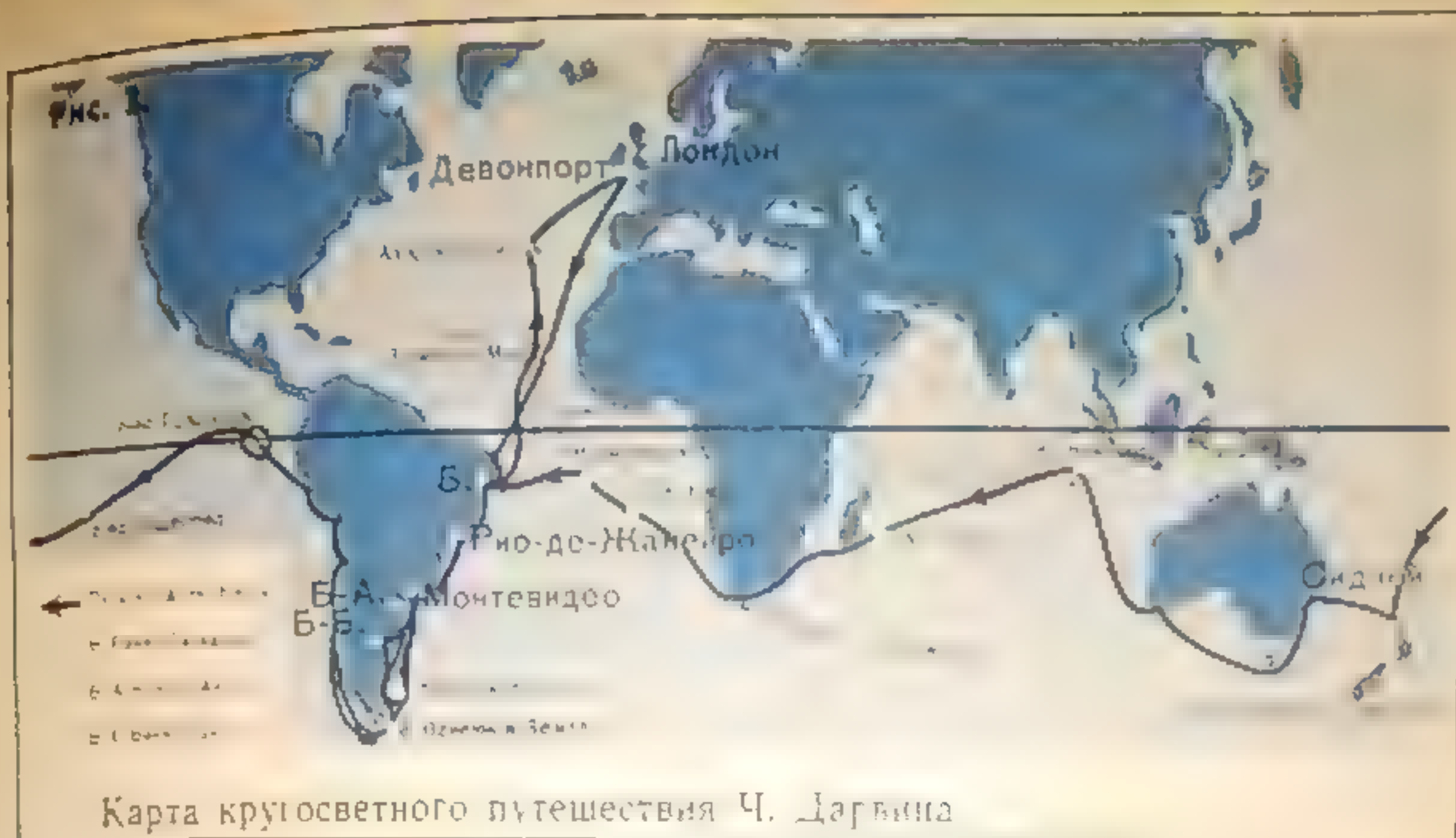
все это
ние о
рый бы
факты
рассуж
ученым

Чарл

кался с
за птиц
ознаком
левых
В 1831-
светное
строение
количес

При
рике Д
ны бог
Землю.
нашел с
предком
когда-то
тересова
вымерш
рик обос
питающ
зависим

Во
происхо
разреш
тал над
В умени
между н



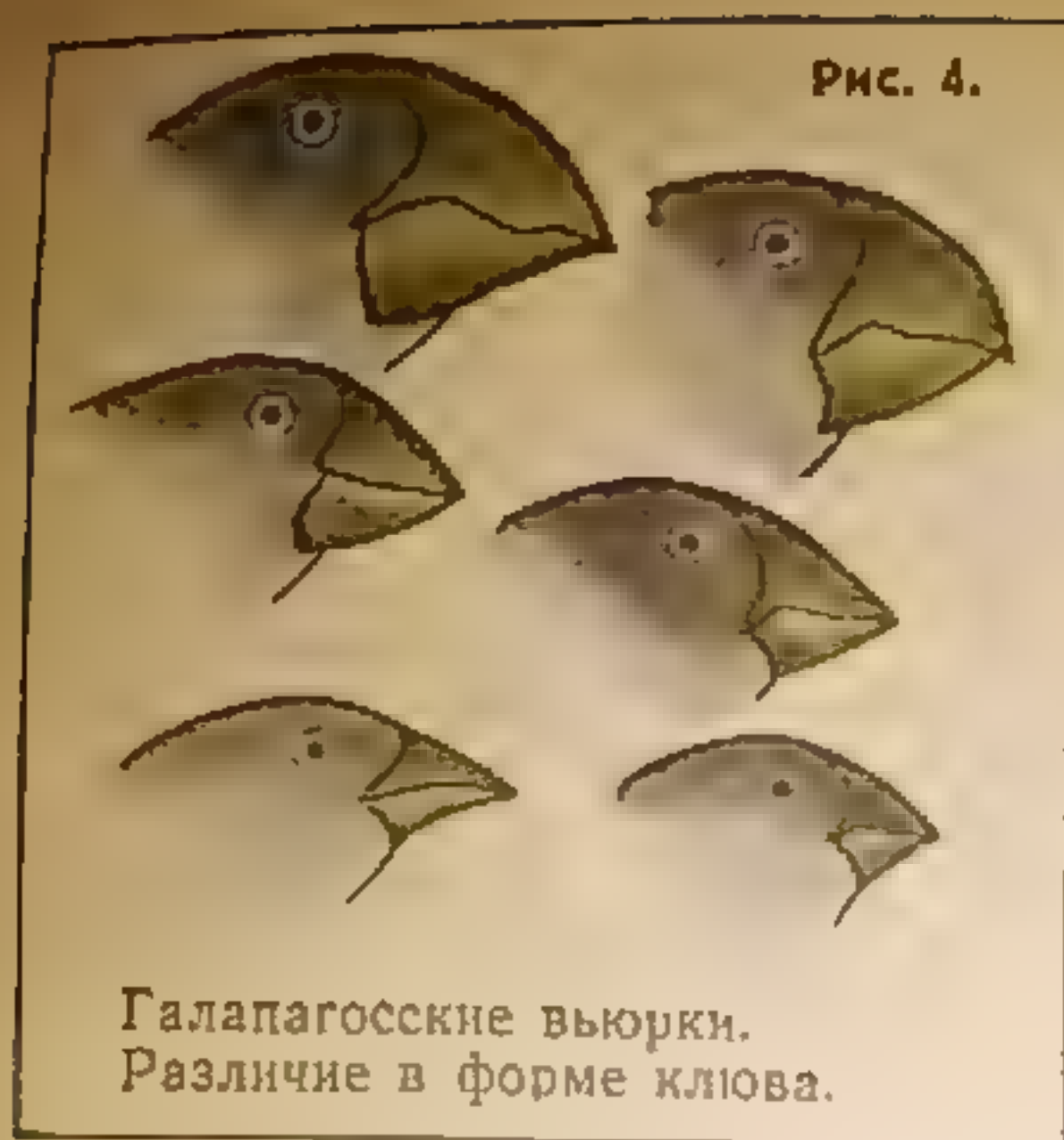
Карта кругосветного путешествия Ч. Дарвина

все это подготовило почву, на которой могло возникнуть учение о происхождении видов. Нужен был гениальный ум, который бы обобщил и переработал все накопленные разнородные факты в свете определенной идеи, создал стройную систему рассуждений и привел убедительные доказательства. Таким ученым оказался Чарлз Дарвин.

Чарлз Дарвин (1809—1882) В детстве Чарлз Дарвин увлекался сбором коллекций, химическими опытами, наблюдениями за птицами и насекомыми. В студенческие годы он хорошо ознакомился с научной литературой и овладел методикой полевых исследований, составления коллекций и гербариев. В 1831—1836 гг. Дарвин совершил на корабле «Бигль» кругосветное путешествие (рис. 3). Он исследовал геологическое строение, флору и фауну посещенных стран, собрал громадное количество различных коллекций и переправил их в Англию.

При изучении остатков вымерших животных в Южной Америке Дарвин пришел к мысли, что современные виды не созданы богом, а развивались постепенно из ранее населявших Землю. На каждом острове Галапагосского архипелага он нашел особый вид вьюрков (рис. 4) и предположил, что их предком был один вид американского происхождения, который когда-то расселился по островам. В Австралии Дарвина интересовали сумчатые и яйцекладущие млекопитающие, давно вымершие в других местах земного шара. Австралия как материк обособилась очень давно (когда еще не было высших млекопитающих); сумчатые и однопроходные развивались здесь независимо от эволюции млекопитающих на других материках.

Во время путешествия Дарвин сделал первые заметки о происхождении видов и возвратился в Англию с желанием разрешить эту проблему. Последующие 20 лет он упорно работал над построением и обоснованием эволюционной теории. В умении подмечать и анализировать факты, находить связи между ними и обобщать Дарвин был поистине гениальным.



Все труды Дарвина, появившиеся после «Происхождения видов», развивали и углубляли различные стороны основной проблемы — происхождения видов. В книге «Изменение домашних животных и культурных растений» на огромном фактическом материале были показаны закономерности эволюции пород домашних животных и сортов культурных растений. В труде «Происхождение человека и половой подбор» Дарвин применил эволюционную теорию для объяснения происхожде-

ния человека, а в книге «Выражение ощущений у человека и животных» привел дополнительные доказательства животного происхождения человека. Дарвину принадлежат капитальные труды по ботанике, зоологии и геологии, в которых детально разработаны отдельные вопросы эволюционной теории.

1. В каких исторических условиях возникло учение Ч. Дарвина? 2. Проследите по карте маршрут кругосветного путешествия Ч. Дарвина на корабле «Бигль» 3. Что такое вид?

5. Изменчивость и наследственность

Для выяснения вопроса, какие движущие силы в процессе эволюции приводят к образованию новых видов, Дарвин обратился к изучению явлений изменчивости и наследственности.

Изменчивость. Изменчивостью называют процесс возникновения различий между особями одного вида.

Благодаря изменчивости даже между близкородственными особями имеются различия. В потомстве одной пары животных или среди растений, выросших из семян одного плода, невозможно встретить совершенно одинаковых. В стаде овец одной породы опытный пастух различает каждое животное по его уловимым особенностям: размерам тела, длине ног, головы, окраске, длине и плотности завитка шерсти, голосу, поведению.

Приведем некоторые факты изменчивости, которые легко наблюдать каждому. Листья на березе или другом дереве кажутся одинаковыми, однако, положив любые два листа с одного дерева рядом, мы увидим мелкие различия между ними. Количество краевых язычковых цветков в соцветиях золотой розги (сем. сложноцветных) колеблется от 5 до 8. Число лепестков ветреницы дубравной (сем. лютиковых) — 6, иногда же 7 и 8. Изменчивы ветвистость «рогов» жука-олени, длина

«усов» жука-усача и т. п. В стае черных галок иногда появляются единичные экземпляры светлой и даже белой окраски.

Формы и причины изменчивости. Дарвин различал две основные формы изменчивости: определенную (групповую) и неопределенную (индивидуальную).

Определенной (групповой) изменчивостью животных и растений Дарвин называл массовую изменчивость, когда все особи данной породы, или сорта, или вида под влиянием определенной причины изменяются одинаковым образом в одном направлении.

Дарвин приводил такие примеры. Сорта культурных растений при перенесении их в новые условия теряют свои качества. Белокочанная капуста при возделывании в жарких странах не образует кочана. Породы собак, живущие в горах или на островах, где пища недостаточна, становятся со временем становятся низкорослыми. Северные породы овец в жарких странах через несколько поколений теряют свою густую шерсть.

Неопределенной (индивидуальной) изменчивостью Дарвин называл появление бесконечно разнообразных незначительных отличий у отдельных особей в пределах одного сорта, одной породы, одного вида. Например, известно, что у павлиньих голубей число рулевых перьев колеблется от 14 до 42. У различных особей одной породы павлиньих голубей весьма изменчивы форма клюва, форма лап и т. д. В дополнение к примерам Дарвина приведем другие (рис. 5). Вспомните примеры изменчивости, приведенные на стр. 22, и скажите, следует отнести их к определенной или к неопределенной. Дарвин приводит также факты очень резкой неопределенной изменчивости у растений. Так, в 1791 г. в Северной Америке появились светлые барашки с очень короткими ногами.

На одной и той же ветви ершавника появляются желтые и красные плоды. У клубней картофеля глазки имеют изменения в окраске. Факты изменения почек известны у винограда и некоторых плодовых деревьев.

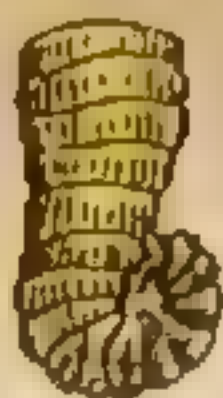
Дарвин установил, что изменение одной части организма нередко обуславливает изменение других его частей. Такая изменчивость названа им *соотносительной*. Дарвин привел ряд интересных фактов. Длинные конечности у животных почти всегда сопровождаются удлиненной шеей. У бесшерстных собак наблюдаются недоразвитые зубы. У голубей с длинными клювами ноги длинные, с короткими клювами — короткие ноги, голуби с оперением на ногах имеют перепонки между пальцами.

У столовых сортов свеклы согласованно изменяется окраска корнеплода, черешков и нижней стороны листьев. У растения львиный зев светлоокрашенные венчики цветков сопровождаются зеленой окраской стебля и листьев; темноокрашенные — темной окраской этих органов. Добиваясь изменения одного признака, человек невольно получает изменения и других признаков, с ним связанных. Причины такого рода фактов оста-

Рис. 3.



1



Неопределенная
изменчивость:

1 — корненожки;
2 — рога сибирской
косули;
3 — рисунок крыла
бабочки монашенки
4 — овца с ногами
нормальной длины и
ее ягненок с укороченными ногами
(Пример Дарвина).



2



3



4



лись для Дарвина неизвестными и были раскрыты наукой значительно позднее.

Основной причиной изменчивости домашних животных и культурных растений Дарвин считал воздействие новых жизненных условий по сравнению с теми, при которых существовали их предки. Человек постоянно изменяет эти условия, вследствие чего домашние животные и культурные растения отличаются повышенной изменчивостью сравнительно с дикими видами. Дарвин полагал, что скрещивание различных пород и сортов также способствует изменчивости.

Изменчивость организмов в естественной обстановке происходит под влиянием тех же причин, которые вызывают изменения домашних животных и культурных растений.

Изменчивость имеет место не только при половом размножении, но и при вегетативном. Дарвин приводил примеры изменчивости почек растений, размножающихся вегетативно.

На основании обширных материалов Дарвин сделал вывод: *изменчивость — всеобщее свойство организмов.*

Наследственность. Наследственностью называют общее свойство всех организмов сохранять и передавать признаки строения и развития от предков к потомству.

Каждый знает, что из желудя вырастает дуб, из яиц кукушки выводятся ее птенцы. Из семян культурных растений определенного сорта вырастают растения того же сорта. Животные передают потомкам свойства своей породы.

Дарвин подчеркивал, что передача признаков по наследству связана прежде всего с воспроизводительной половой системой, которая отличается исключительной чувствительностью к внешним условиям. Но изменение может выявиться только в следующем поколении, если оно окажется наследственным. Влияние одних и тех же условий жизни может по-разному сказаться на разных организмах, поскольку наследственность их различна.

Наследственность сохраняется и при вегетативном размножении. Широко известны способы размножения растений отводками, черенками, усами, клубнями, причем видовые и сортовые признаки передаются потомству. Поросль тополя, осины, ивы и т. д. дает деревья и кусты тех же видов.

Таким образом, *изменчивость и наследственность — всеобщие свойства организмов.*

Наследственная и ненаследственная изменчивость. Дарвин различал наследственную и ненаследственную изменчивость.

Наследственной изменчивостью он считал неопределенную (индивидуальную) изменчивость, когда раз появившиеся изменения сохраняются в последующих поколениях.

Ненаследственной изменчивостью Дарвин считал определенную (групповую) изменчивость, когда возникшие изменения не сохраняются в последующих поколениях.

В процессе эволюции, по мнению Дарвина, играет роль только наследственная, индивидуальная, изменчивость.

Дарвин обращал внимание на то, что законы, управляющие наследственностью, еще неизвестны. Он правильно показал роль наследственной индивидуальной изменчивости в процессе эволюции, привлек к ней внимание ученых. Дарвин неоднократно подчеркивал необходимость глубокой разработки проблемы наследственной изменчивости. Позднее эта проблема стала предметом науки — генетики.

- 1. Расскажите о формах изменчивости. Приведите примеры. 2. На комнатных растениях — экземплярах одного вида — проследите изменчивость формы, величины, окраски листьев, цветков. 3. На экскурсии, на учебно-опытном участке или во время прогулки в природу наблюдайте изменчивость у растений, насекомых. Сделайте гербарий, коллекцию, фотоснимки. 4. Докажите, что изменчивость — всеобщее свойство организмов.

6. Искусственный отбор

Многообразие сортов культурных растений и пород домашних животных. К 40-м годам прошлого столетия было известно большое количество пород рогатого скота (молочных, мясных, мясо-молочных), лошадей (тяжеловозов, скаковых), собак, а также кур (форзац 1) и других домашних птиц. На считывали более 150 пород голубей. Число сортов пшеницы превышало 300; винограда насчитывали до 1000 сортов, крыжовника — более 300. Породы домашних животных и сорта культурных растений, принадлежащих к одним и тем же видам, настолько сильно отличаются друг от друга, что их можно приять за разные виды. Каждая порода или каждый сорт по своим признакам всегда отвечает интересам или прихотям человека, ради которых он их разводит.

Сторонники учения о постоянстве и неизменяемости видов считали, что каждая порода, каждый сорт, культивируемые человеком, происходили от отдельного дикого вида.

Дарвин обстоятельно изучил происхождение разных пород домашних животных и пришел к заключению, что человек сам создал все их многообразие, как и сортов культурных растений, путем изменения в разных направлениях одного или нескольких родоначальных диких видов.

Происхождение пород домашнего голубя. Несмотря на большое разнообразие различий, породы (форзац 1) имеют ряд очень важных общих особенностей. Так, домашние голуби — общественные птицы, гнездятся на зданиях, но не на деревьях, в период спаривания все породы ведут себя сходным образом. Породы легко скрещиваются и дают плодовитое потомство. При скрещивании разных пород домашнего голубя Дарвин получал потомство, по сизой окраске удивительно сходное с диким сизым (скалистым) голубем. Дарвин сделал вывод, что *все они произошли от одного вида* — дикого сизого (скалистого) голубя, обитающего на крутых утесах Средиземноморского побережья и севернее — до Англии и Норвегии. Обыкновенный сизый голубь похож на него окраской оперения.

Точным исследованием Дарвин установил, что все породы домашних кур произошли от банкинской курицы — дикого вида, обитающего в Индии, на Цейлоне и Зондских островах. Породы крупного рогатого скота произошли от дикого тура, истребленного в XVII в., породы свиней — от дикого кабана.

Сорта огородной капусты произошли от дикой капусты, еще и теперь встречающейся по западным берегам Европы (рис. 6).

Выведение новых пород и сортов. Достаточно ли только изменчивости и наследственности для объяснения поразительного многообразия пород домашних животных и сортов культурных растений и соответствия их той цели, с которой их разводит человек?

Чтобы ответить на этот вопрос, Дарвин обращается к книгам и журналам по сельскому хозяйству, к отчетам сельскохо-

рис. 6.

Культуры капусты, полученные в результате селекции.



1 — дикая однолетняя; 2 — кочанная; 3 — цветная; 4 — кольраби;
5 — брюссельская; 6 — савойская; 7 — кормовая

зяйственных выставок, где он встречался и с крестьянами, и с предпринимателями, изучает практику земледельцев, садоводов, охотников, ищет упоминания о породах и сортах в исторических источниках. И он устанавливает, что породы и сорта постепенно и постоянно изменялись, постепенно становясь все более совершенными и разнообразными по своим признакам. Человек добивался таких результатов при помощи искусственного отбора, который он проводил с давних времен.

Искусственный отбор осуществлялся таким образом. В стаде, стае, в поле, на грядке и т. д. человек замечал отдельное животное или растение с каким-либо, хотя бы и мелким, отличием. Заинтересовавшись его особенностями, отбирал на развод, на племя и скрещивал их. В потомстве снова отбирались особи, унаследовавшие хозяйственно ценный признак. Из поколения в поколение оставлялись в качестве производителей те особи, у которых данный наследственный признак был выражен более

заметно. Таким образом, признак усиливался и накапливался. Путем скрещивания различных производителей человек по своему желанию сочетал в одном животном или в одном растении ряд новых признаков. В силу относительной изменчивости (стр. 23) вместе с отбираемыми признаками передавались и связанные с ними другие признаки. В результате человек получал новые породы и сорта. Одновременно в каждом поколении все неподходящие особи уничтожались или использовались в хозяйстве, но не допускались к размножению.

Отбору иногда предшествовало скрещивание с целью усилить изменчивость в потомстве и, следовательно, получить более разнообразный материал для искусственного отбора, который вели потом в течение длительного времени. Таким путем, например, были получены английские улучшенные породы свиней. Родоначальник русской породы орловских рысаков был получен таким образом: сначала скрестили жеребца арабской верховой породы с лошастью датской тяжеловозной породы, а появившегося от них жеребца — с лошастью голландской рысистой породы. Затем искусственным отбором была выведена всемирно известная порода орловских рысаков.

Дарвин различал две формы искусственного отбора: бессознательный и методический.

Бессознательный отбор. На протяжении тысячелетий человек проводил искусственный отбор *стихийно*, бессознательно, без представления о его конечных результатах. Древние земледельцы собирали с дикорастущих злаков наиболее крупные семена для посева. При уборке урожая ломкие и незрелые колосья, мелкие семена терялись, лучшие колосья сохранялись.

Методический отбор. Только с конца XVIII в. стали проводить искусственный отбор *планово*, *методически*, т. е. в заранее намеченном направлении. За короткое время вывели породы домашней птицы, превосходящие старые по продуктивности. Признаки породы стали отвечать заранее поставленным требованиям. Например, заинтересовались постановкой гребня у испанского петуха — через 5—6 лет прямые гребни появились у всех птиц этой породы. Почти не знали пород кур с «бородой»; на одной выставке была отмечена такая порода — через несколько лет все куры-экспонаты были с «бородами».

Дарвин указывал на постоянно возрастающие размеры ягод крыжовника, на поразительные изменения в многочисленных сортах декоративных растений, происшедшие за 20 или 30 лет.

После того как порода установится, человек уже ограничивается выбраковкой особей, уклоняющихся от образа.

Искусственный отбор протекает успешнее, по мнению Дарвина, в крупных хозяйствах: среди большего количества особей больше и наследственного материала, следовательно, возможности отбора и выбраковки расширяются.

Творческая роль отбора. Отбором создаются новые породы и сорта, при этом развивается и видоизменяется тот орган или тот признак, который желателен для человека (рис 7)



«Посмотрите, — указывает Дарвин, — как разнообразны листья капусты и как поразительно сходны ее цветы, как разнообразны цветы анютиных глазок и как сходны листья, как резко различаются по величине, окраске, форме и волосистости различные сорта крыжовника и как мало различие между их цветами». Такого рода факты объясняются только тем, что в каждом случае человек вел отбор в определенном направлении по листьям, цветкам, плодам и т. п.

Следовательно, породы и сорта, происходящие от общих диких предков, развивались под влиянием человека в разных направлениях соответственно различным целям, вкусам и запросам. Благодаря этому они постепенно становились все более и более непохожими друг на друга и на первоначальный дикий вид, от которого произошли.

Процесс усиления едва заметных различий в признаках пород между собой и со своими общими предками Дарвин назвал расхождением признаков, или дивергенцией.

Дарвин привел такой пример. В ранний период истории какое-то племя нуждалось в сильных и грузных лошадях, а другое, наоборот, в легких и быстрых. Каждое из них разводило только интересующих его лошадей, промежуточных же по своим признакам лошадей совсем перестали разводить, и они постепенно исчезли. По истечении столетий каждое племя имело нужную ему хорошо установившуюся породу лошадей. Обе породы — результат расхождения в признаках. Дарвин утверждал, что отбором люди всегда стремились довести породу до наиболее ярко выраженных признаков при медленном угасании промежуточных форм.

Итак, отбор не сводится к простой выбраковке негодных животных и сохранению приспособленных к интересам человека. Искусственным отбором создаются новые породы и сорта. Искусственный отбор — главный фактор, главная движущая сила образования новых пород и сортов. Учение об искусственном

отборе теоретически обобщило тысячелетнюю практику человека по созданию пород домашних животных и сортов культурных растений и стало одной из важнейших основ современной селекции.

- ? 1. Какие формы искусственного отбора выделяет Ч. Дарвин и чем они различаются? 2. Как объяснить многообразие пород домашних животных и сортов культурных растений? Что такое дивергенция признаков?
- Р 3. Какая изменчивость — определенная или неопределенная — служит исходным материалом для искусственного отбора? 4. Узнайте, какие породы домашних животных и сорта культурных растений являются основными в ближайшем колхозе, совхозе. Выясните породные и сортовые качества этих животных и растений. 5. Узнайте, какую работу по улучшению пород животных и сортов растений ведет колхоз, совхоз.

Задания 4 и 5 оформите записями, фотоснимками, коллекциями.

7. Борьба за существование

Установив, что главным фактором эволюции пород домашних животных и сортов культурных растений является искусственный отбор, Дарвин перешел к основной задаче — выяснению главной движущей силы эволюции видов в природе.

Дарвин полагал, что многообразие диких видов и приспособленность организмов к условиям жизни, как и многообразие пород домашних животных и сортов культурных растений, отвечающих интересам человека, нельзя объяснить только наследственной изменчивостью. А не существует ли и в природе процесс отбора?

Интенсивность размножения. Дарвин обратил внимание на быстроту, с которой размножаются организмы.

Плодовитость животных иногда достигает поразительной величины. Особь одного вида аскариды, паразита человека, производит в сутки 200 тыс. яиц. Самка трески мечет до 10 млн. икринок. Серая крыса дает 5 пометов в год, по 8 крысят в среднем, которые с трехмесячного возраста начинают размножаться.

Растения образуют огромное число семян. Еще Линней подсчитал, что с одного растения мака можно получить до 32 тыс. семян. В одном плоде кукушкиных слезок, по подсчету Дарвина, не менее 186 300 семян.

Борьба за существование и ее формы. В природе организмов появляется во много раз больше, чем их может просуществовать на данном клочке земли. В результате между организмами происходит состязание — борьба за существование. «Я должен предупредить, — писал Дарвин о борьбе за существование, — что применяю это выражение в широком и метафорическом смысле, включая сюда зависимость одного существа от другого, а также подразумевая (что еще важнее) не только жизнь одной особи, но и успех ее в обеспечении себя потомством». Лишь в некоторых случаях борьба за существование

выражается в прямой схватке, например когда хищники грызутся из-за добычи или когда хищник сражается с жертвой.

Дарвин различал три формы борьбы за существование: внутривидовую, межвидовую и борьбу с неблагоприятными условиями неорганической природы.

Внутривидовая борьба за существование (состязание) происходит между особями, принадлежащими к одному и тому же виду, например состязание между соснами за пищу, между соснами за свет.

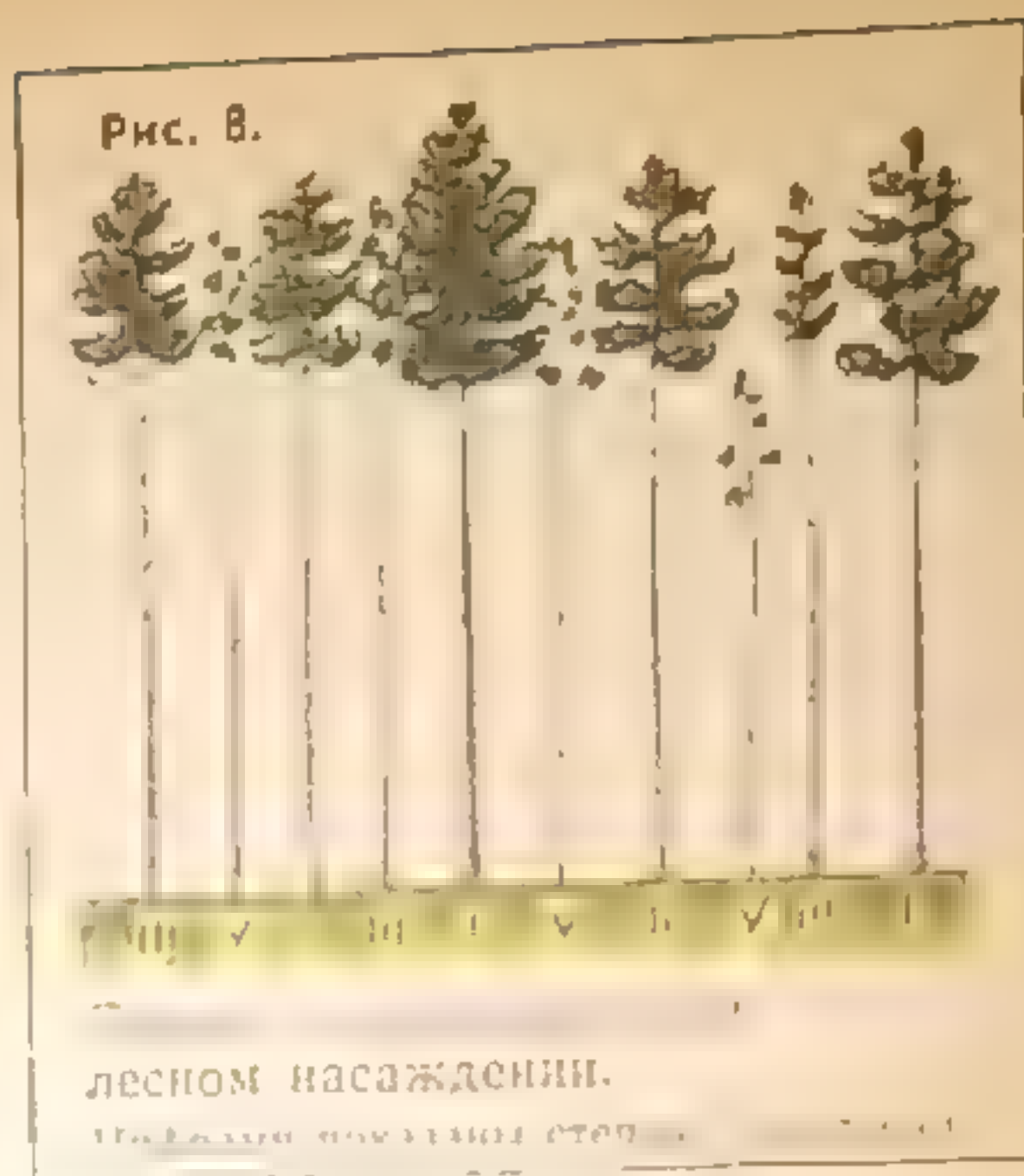
Эта форма борьбы наблюдается у животных и растений. Растения одного и того же вида нуждаются в одной и той же пище и подвергаются одним и тем же опасностям.

Яркую картину внутривидовой борьбы за существование можно наблюдать в лесном насаждении. Деревья одного и того же вида широко раскинуты, их кроны образуют сплошной полог, который пропускает мало солнечных лучей. Они борются за свет. Кроме того, их корневая система доставляет из почвы воду с растворенными в ней минеральными веществами. Деревья-победители растут, а побежденные деревья до их засыхания и гибели.

Межвидовая борьба за существование наблюдается между растениями разных видов. Она протекает обычно в форме конкуренции. Растения одного и того же рода и сходны не только по строению, но и в потребностях. Дарвин указывает на то, что в Австралии эвкалипты вытесняют другие породы деревьев. В Австралии обыкновенная эвкалиптовая порода вытесняет маленькую эвкалиптовую породу.

Обратимся снова к наблюдениям в лесу. В лесу можно видеть, как один вид вытесняет другой. Например, в лесу сосны вытесняют березы, которые вымерзают на открытых местах. А потом по мере смыкания кроны молодых сосен гибнут всходы светлюбивых пород.

Борьба с неблагоприятными условиями неорганической природы наблюдается повсюду, где организмы оказываются в условиях излишнего тепла или холода, сухости или влажности. Пшеница растет в пустыне говария, что она «борется с засухой». При продвижении на север или при подъеме в горы в неблагоприятных климатических условиях встречаются зачаточные деревья и кусты, хотя никакие другие растения их не теснят.



Жизненное состязание организмов часто называют биологическим, чтобы подчеркнуть, что речь идет только о животных, растениях и микроорганизмах и ни в какой мере не относится к человеку. Биологическое состязание протекает обычно одно временно во всех его формах, но может выразиться в какой-либо одной форме. Все зависит от биологического окружения и условий неорганической природы, в которых оказывается животное или растение.

Сложные отношения между видами. Дарвин приводил такой пример. Часть совершенно бесплодной вересковой равнины огородили для защиты от погравы скотом и засадили шотландской сосной. Через 25 лет здесь шумел сосновый лес и в нем появились новые обитатели: растения, насекомоядные птицы и насекомые — с их сложными взаимными отношениями.

Между видами существуют сложнейшие цепи связей. Во время путешествия Дарвин наблюдал во всех областях севернее и южнее Парагвая множество одичавших животных (крупного рогатого скота, лошадей и собак), но в самом Парагвае их не было. Оказалось, что в Парагвае в огромном количестве распространен один вид мухи, который откладывает яйца в пупки новорожденных млекопитающих, и они погибают. Если бы в Парагвае число насекомоядных птиц уменьшилось, то возросла бы численность паразитических насекомых, уничтожающих этих мух. С уменьшением количества мух началось бы одичание животных. Они, беспрепятственно размножаясь, уничтожали бы растительность, что повлияло бы на численность насекомых, а следовательно, и на насекомоядных птиц и т. д.

Сложные отношения между живыми существами выражаются также во взаимопомощи «общественных» форм насекомых (осы, пчелы, муравьи, термиты), косяков диких лошадей. При опасности молодняк загоняется в середину, вокруг встают кобылы головами к центру, а жеребцы охраняют этот круг.

В лесу, где столь ярки проявления биологического состязания, наблюдается и польза от совместного произрастания деревьев. Здесь по сравнению с открытыми местами создается свой тепловой, водный и воздушный режим: менее резкие колебания температуры, более высокая относительная влажность. В этих условиях под пологом деревьев верхних ярусов произрастают теневыносливые кустарники, травы, мхи, напочвенные водоросли.

Использование человеком взаимоотношений между организмами. Изучение сложных взаимоотношений, существующих между организмами, позволяет использовать их в интересах человека. Так, при установлении севооборотов соблюдают правильное чередование культур на полях, с учетом их отношения к почве, воде, вредителям, болезням и пр. То же самое наблюдается при искусственных посадках лесов. Например, в настоящее время вносят микоризу (гифы грибов) в почвы, лишенные ее. Микориза, внедрившаяся в корни дерева, доставляет влагу и пита-

тельные ве
дерева (дуб,
При иску
освобождают
а потом засе
Для лече
заболеваний
фитонциды. Т
тываемые рас
ность вредны
тики выраба
ды — многи
борьбе с дру

1. Какой
вание?
одного в
природы
лее остр
деревья
существо

8. Естествен
эволюция

Сущность
лучше в бор

Потомстве

своим насле

ния в опред

вредные и по

Безразли

ние особен,

Вредные

шают их в

нительно» п

менений сн

ся, они по

мирают.

Полезны

нии, хотя б

не обладаю

размножен

вида, это т

в нее чере

доставляет

ность его

Естествен

собленных

ных разли

2 Общая биол

тельные вещества из почвы, обеспечивая нормальный рост дерева (дуб, береза, бук и др.).

При искусственном разведении рыбы водоемы сначала освобождают от лишних (щука, окунь) и малоценных видов, а потом заселяют высокопродуктивными (каarp, сиг и др.).

Для лечения и предупреждения различных инфекционных заболеваний человека и животных применяют антибиотики и фитонциды. Те и другие представляют собой вещества, вырабатываемые растениями, которые способны угнетать жизнедеятельность вредных для этих растений микроорганизмов. Антибиотики вырабатываются многими низшими грибами, фитонциды — многими цветковыми растениями, как приспособления в борьбе с другими видами.

1. Какой смысл вкладывал Дарвин в выражение «борьба за существование»? 2. Какие взаимоотношения существуют между организмами одного вида? Разных видов? Между организмами и неорганической природой? 3. Какая форма борьбы за существование протекает наиболее остро и почему? 4. На экскурсии или на прогулке в лесу найдите деревья разной степени угнетения и отметьте результаты борьбы за существование. Сделайте фотоснимки, зарисовки

8. Естественный отбор — движущая сила эволюции органического мира

Сущность естественного отбора. Какие организмы выживают лучше в борьбе за существование?

Потомство любой пары данных организмов неоднородно по своим наследственным особенностям. Индивидуальные изменения в определенных условиях среды могут быть безразличными, вредными и полезными.

Безразличные изменения не оказывают влияния на выживание особей, их плодовитость и судьбу вида в целом.

Вредные изменения снижают плодовитость особей, уменьшают их выживаемость и, по словам Дарвина, будут «неизбежно» подвергаться истреблению. Появление вредных изменений снижает численность особей, ареал видов сокращается, они постепенно угасают и в конечном счете совсем вымирают.

Полезные изменения дают особям преимущество в выживании, хотя бы и минимальное, по сравнению с теми, какие ими не обладают, и «будут иметь больше шансов на сохранение и размножение своего рода». Сами по себе они не создают нового вида, это только материал для эволюции, который включается в нее через естественный отбор. Таким образом, изменчивость доставляет материал для эволюционного процесса, наследственность его закрепляет, а отбор оставляет приспособленных.

Естественным отбором или переживанием наиболее приспособленных Дарвин назвал «сохранение полезных индивидуальных различий или изменений и уничтожение вредных». В про-

цессе естественного отбора из поколения в поколение особи, обладающие изменениями, хотя бы незначительными, но полезными в определенных условиях среды, преимущественно сохраняются и оставляют после себя плодовитое потомство. Наоборот, особи с вредными в тех же условиях изменениями дают все более и более малочисленное и слабое потомство, что в конце концов приводит к вымиранию видов.

Дарвин предупреждал, что естественный отбор не есть «сознательный выбор со стороны животных, испытывающих изменение», или «какое-то деятельное начало, или божество». Условия среды играют роль отбирающего фактора, выражение «естественный отбор» Дарвин употреблял ради краткости речи в метафорическом смысле, чтобы обозначить результат действия естественных законов.

Естественному отбору подвергаются совершенно неумовимые для человека особенности диких организмов. Любое самое маловажное, но полезное наследственное изменение подхватывается естественным отбором, накапливается и усиливается в каждом последующем поколении и закрепляется.

Следовательно, естественный отбор действует через сохранение и накопление полезных для вида наследственных изменений, создавая новые, более совершенные, лучше других приспособленные к среде организмы, обладающие повышенной плодовитостью. В борьбе за существование приспособленные организмы погибают реже, чем неприспособленные.

Естественный отбор действует крайне медленно и распространяется на организмы любого пола и в любом возрасте.

Естественный отбор Дарвин считал главной движущей силой процесса эволюции.

Естественный отбор протекает успешнее при широком расселении вида, когда число особей умножается, а вместе с ним увеличивается количество неопределенных наследственных изменений. При таких условиях возможности отбора расширяются.

Примеры действия естественного отбора. Дарвин пояснил действие естественного отбора примерами. Волк охотится за различными животными, побеждая одних силой, других — хитростью, а третьих — быстротой ног. Предположим, что численность самых быстроногих жертв, например оленей, по каким-то причинам сильно возросла, других же животных стало много меньше в то время года, когда волки особенно голодают. При данных условиях преимущества будут иметь самые быстрые в беге и самые ловкие волки.

На мелких океанических островах, где часто дуют сильные ветры, Дарвин нашел только бескрылых и длиннокрылых насекомых. Здесь могли сохраняться и размножаться насекомые с длинными крыльями, способные бороться с ветром, или же те, которые совсем не поднимались в воздух, забиваясь в щели; особей с нормально развитыми крыльями ветер уносил в океан, и они погибали.

На
не ок
Керге
самое
плоти
укоре
ковос
Ср
Сходс
основе
она д
ал дл
венно
отбор
Од
разли
Пр
призна
для со
вредн
свиней
вать
Пр
услов
важни
только
призна
В
машин
ные че
результ
ленни
Ис
век ст
Естест
ническ
Дар
естест
ный м
дическ
челове
погиба
органи

На острове Вознесения, открытом ветрам со всех сторон, не оказалось ни одного дерева. То же было и на островах Кергеленских, где почти все растения стелются по земле, а самое высокое едва достигает 1 м. Многие растения образуют плотные дерновые подушки. Растения высокие или со слабым укоренением стеблей уничтожались здесь в процессе многовекового отбора.

Сравнение действия искусственного и естественного отбора. Сходство между этими двумя процессами состоит в том, что основой того и другого служит наследственная изменчивость: она доставляет наследственные изменения признаков — материал для отбора. В результате действия искусственного и естественного отбора получают новые формы при искусственном отборе — породы и сорта, а при естественном — виды.

Однако между этими двумя процессами есть существенное различие. Оно заключается в следующем.

При искусственном отборе человек отбирает по замеченным признакам и направляет дальнейшее развитие, полезную для себя. При этом отбираемые признаки могут оказаться даже вредными для самого организма. Например, некоторые породы свиней или молочного скота существуют только благодаря существованию в природе без заботы о них человека.

При естественном отборе действуют те условия окружающей среды, которые являются наиболее важными признаками. В силу этого естественный отбор действует только на пользу организма и тому, к которому он принадлежит.

В результате искусственного отбора создаются породы домашних животных и сорта культурных растений, приспособленные человеком к его потребностям и намеченным делам. А в результате естественного отбора создаются виды, приспособленные к жизни в определенных условиях окружающей среды.

Искусственный отбор проводится с того времени, как человек стал заниматься земледелием и приручением животных. Естественный отбор происходит в течение всей истории органического мира: он более ранний и длительный.

Дарвин указал, что под влиянием деятельности человека естественный отбор с течением времени переходил в искусственный методический через бессознательный отбор. Но и при методическом отборе проявляется действие естественного отбора: человек предпочитает здоровых и сильных особей, слабые же погибают чаще сами. Естественный и искусственный отбор органически связаны.

1. Какой процесс называют естественным отбором?
2. Какая форма изменчивости служит исходным материалом для естественного отбора?
3. Почему естественный отбор Дарвин считал главной движущей силой эволюции?
4. Укажите сходство и различие между искусственным и естественным отбором.

9. Приспособленность организмов и ее относительность

В XIX в. исследования приносили все новые данные, раскрывающие приспособленность животных и растений к условиям окружающей среды; вопрос же о причинах этого совершенства органического мира оставался открытым. Дарвин объяснил происхождение приспособленности в органическом мире с помощью естественного отбора.

Ознакомимся предварительно с некоторыми фактами, свидетельствующими о приспособленности животных и растений.

Примеры приспособленности в животном мире В животном мире широко распространены различные формы защитной окраски. Их можно свести к трем типам: покровительственная, предостерегающая, маскировочная.

Покровительственная окраска помогает организму стать менее заметным на фоне окружающей местности. Среди зеленой растительности клопы, мухи, кузнечики и другие насекомые часто окрашены в зеленый цвет. Фауну Крайнего Севера (белый медведь, полярный заяц, белая куропатка) характеризует белая окраска. В пустынях преобладают желтые тона окраски животных (змеи, ящерицы, антилопы, львы).

Предостерегающая окраска ясно выделяет организм в окружающей среде яркими, пестрыми полосами, пятнами (форзац 2). Она встречается у ядовитых, обжигающих или жалящих насекомых: шмелей, ос, пчел, жуков-нарывников. Яркая, предостерегающая окраска обычно сопровождается другими средствами защиты: волоски, шипы, жала, едкие или остропахнувшие жидкости. К этому же типу окраски относится угрожающая.

Маскировка может достигаться сходством по форме тела и окраске с каким-либо предметом: листом, веткой, сучком, камнем и т. д. (рис. 9). При опасности гусеница бабочки-пяденицы вытягивается и застывает на ветке наподобие сучка. Бабочку совки-гнилушки в неподвижном состоянии легко принять за кусочек гнилого дерева. Маскировка (форзац 3) достигается также *мимикрией*. Под мимикрией имеют в виду сходство в окраске, форме тела и даже в поведении и повадках между двумя или несколькими видами организмов. Например, шмелевидные и осовидные мухи, лишенные жала, очень похожи на шмелей и ос — жалящих насекомых.

Не следует думать, что защитная окраска обязательно и всегда спасает животных от истребления врагами. Но более приспособленные по окраске организмы или группы их погибают значительно реже, чем менее приспособленные.

Помимо защитной окраски у животных сложились многие другие приспособления к условиям жизни, выражающиеся в их повадках, инстинктах, поведении. Например, перепела в случае опасности быстро опускаются на поле и замирают в неподвижной позе. В пустынях змеи, ящерицы, жуки прячутся от зноя в песок. В момент опасности многие животные принимают угрожающие позы (рис. 10).

Примеры приспособленности у растений. Высокие деревья, кроны которых свободно обдувает ветер, как правило, имеют плоды и семена с летучками. Для подлеска и кустарников, где обитают птицы, характерны яркие, со съедобной мякотью плоды. У многих луговых трав плоды и семена имеют крючочки, которыми они прицепляются к шерсти млекопитающих.

Разнообразные приспособления препятствуют самоопылению и обеспечивают перекрестное опыление растений.

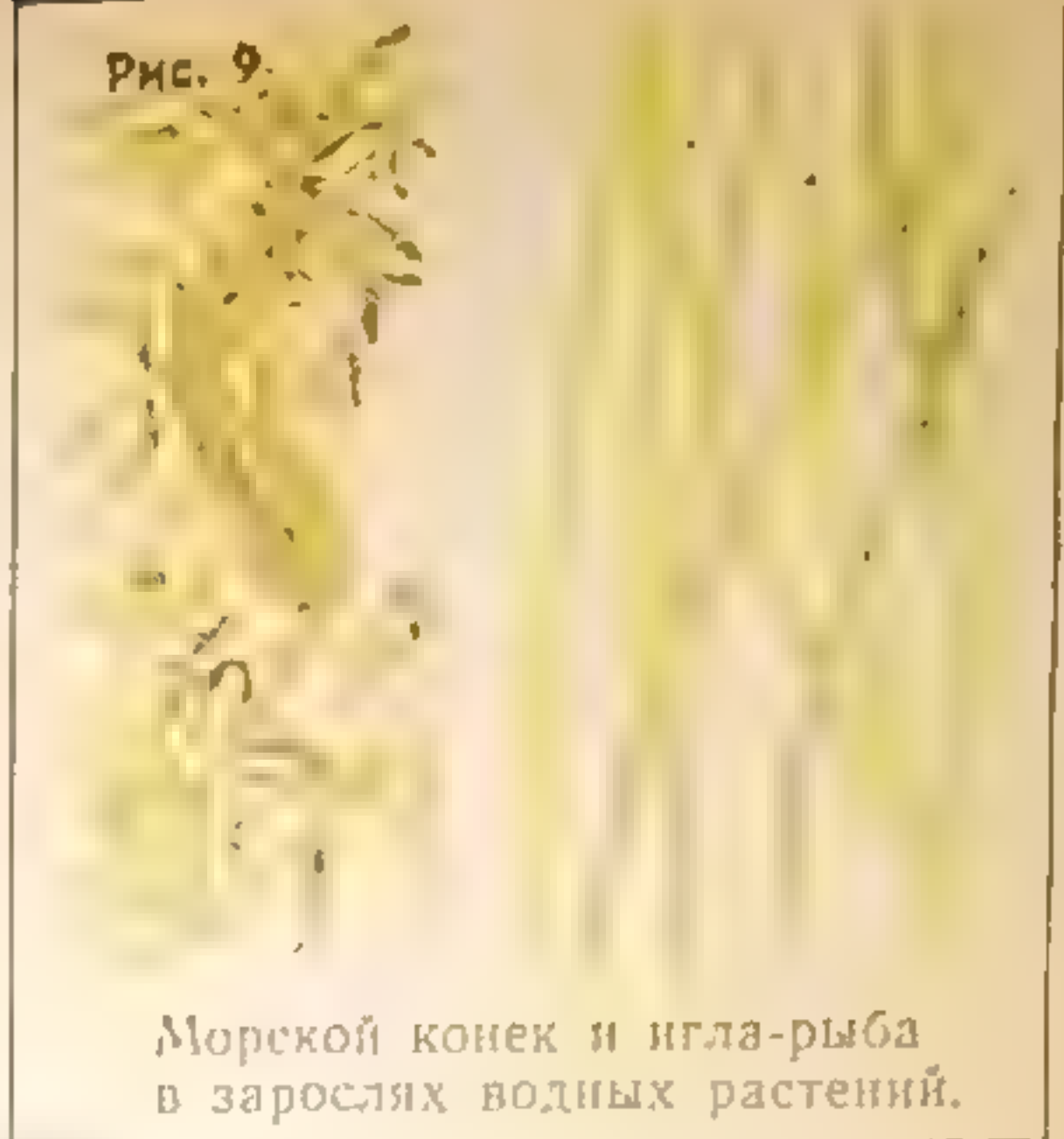
У однодомных растений мужские и женские цветки созревают неодновременно (огурцы). Растения с обоеполыми цветками защищены от самоопыления одновременным созреванием тычинок и пестиков или особенностями их строения и расположением (у первоцвета).

Укажем еще примеры жизни растений в условиях вечной мерзлоты. Укажем еще примеры жизни растений в условиях вечной мерзлоты. Ветренницы, чистяка, голубой герань, тусулого лука и др. — переносят температуры ниже нуля. Благодаря наличию концентрированного раствора сахара в клеточном соке. Это — медленный рост, низкоростость, мостовидность, поверхностное расположение корней у деревьев и кустарников в тундре (лиственница, береза, можжевельник), чрезвычайно быстрое развитие листовой флоры весной и летом — все это приспособления к жизни в условиях вечной мерзлоты.

Плодовитость организмов как приспособление к сохранению вида. Вы уже ознакомились с явлением интензивности размножения организмов (стр. 30) как предпосылкой к борьбе за существование и естественному отбору. Однако способ размножения организмов оставляет многочисленное потомство следует рассматривать и как важное приспособление к сохранению вида. Доказательством служит тот факт, что наиболее многочисленное потомство производится теми видами, у которых оно подвергается массовому уничтожению. Например у червей-паразитов, у многих видов рыб. Высокой плодовитостью отличаются мелкие слабосильные животные — виды мышевидных грызунов, а также многие насекомые. У видов с развитым инстинктом охраны потомства оно немногочисленное. Самка различных видов колюшки откладывает всего 120—150 икринок в гнездо, построенное самцом, который охраняет оплодотворенную икру и мальков.

Многие сорные растения производят неизмеримо большее количество семян, чем культурные, — это приспособительный признак.

Рис. 9.



Морской конек и игла-рыба в зарослях водных растений.

Рис. 10.



Угрожающие позы
у различных
животных:

1 — гусеница гарпии ви-
лохвоста; 2 — гусеница
букового вилохвоста; 3 —
жук-чернотелка; 4 —
паук-тарантул; 5 — гусе-
ница винного бражника;
6 — плащеносная ящери-
ца; 7 — очковая змея.

Многообразие приспособлений. Виды растений и животных отличаются приспособленностью не только к условиям неорганической среды, но и друг к другу. Например, в широколиственном лесу травяной покров весной образуют светлюбивые растения (хохлатка, ветреница, медуница, чистяк), а летом — теневыносливые (будра, ландыш, зеленчук). Опылителями раннецветущих растений являются главным образом пчелы, шмели и бабочки; летнецветущие растения опыляются обычно мухами. Многочисленные насекомоядные птицы (иволга, поползень), гнездясь в широколиственном лесу, уничтожают его вредителей.

В одной и той же среде обитания организмы обладают различными приспособлениями. Птица оляпка не имеет плавательных перепонек, хотя она добывает себе пищу под водой, ныряя, пользуясь крыльями и цепляясь ногами за камни. Крот и слепыш принадлежат к роющим животным, но первый роет конечностями, а второй проделывает подземные ходы головой и

сильные
фин по
Про
появля
кретным
корне с
ученые
щих си
Теор

объясне
окраски
ниц, ж
окраше
Предпо
дены б
ставить
хорошо
ственн
могли
мелее з
леноват
витое п
ществ
на зеле
даря ес
более и

Возн
естестве
в форм
защит
и остав
органи
менения
усилива
судств

Дви
Геогр
явления
ни ра
ложит
тела и
объясн
другу.
ветств
ных вид
жаются
могут «
Вспо
1) «стро
ческий

сильными резцами. Тюлень плавает при помощи ластов, а дельфин пользуется хвостовым плавником.

Происхождение приспособлений у организмов. Объяснение появления сложных и многообразных приспособлений к конкретным условиям окружающей среды, данное Дарвином, в корне отличалось от понимания этого вопроса Ламарком. Эти ученые резко разошлись также в определении главных движущих сил эволюции.

Теория Дарвина дает вполне логичное материалистическое объяснение происхождения, например, покровительственной окраски. Рассмотрим возникновение зеленого цвета тела гусениц, живущих на зеленых листьях. Предки их могли быть окрашены в какой-либо другой цвет и не считаться листьями. Предположим, что в силу каких-то обстоятельств они вынуждены были перейти на питание зелеными листьями. Легко представить себе, что птицы склевали наиболее ярких насекомых, хорошо заметных на зеленом фоне. В результате различных наследственных изменений, которые всегда происходят в потомстве, могли быть изменения в окраске тела гусениц. Изменения их менее заметными на зеленых листьях. Из тела гусениц с зеленоватым оттенком как раз и вышло потомство и дало плодотворное потомство. В последующем процессе естественного выживания гусениц, более удачных по окраске на зеленых листьях, продолжалось. С течением времени благодаря естественному отбору окраска гусениц все более и более соответствовала основному фону.

Возникновение мимикрии может быть объяснено также лишь естественным отбором. Организмы с полезными изменениями в форме тела, окраске, поведении, унаследованными сходство с защищенными животными, имели больше возможности выжить и оставить многочисленное потомство. Процент гибели таких организмов был ниже тех, которые не обладали полезными изменениями. Из поколения в поколение полезное изменение усиливалось и совершенствовалось через накопление признаков сходства с защищенными животными.

Движущая сила эволюции — естественный отбор.

Теория Ламарка оказалась совершенно беспомощной в объяснении органической целесообразности, например, происхождения различных типов защитной окраски. Невозможно предположить, что животные «упражнялись» в окраске или форме тела и путем упражнения приобрели приспособленность. Нельзя объяснить и взаимную приспособленность организмов друг к другу. Например, совершенно необъяснимо возникновение соответствия хоботка у рабочих пчел строению цветка определенных видов опыляемых ими растений. Рабочие пчелы не размножаются, а пчелиные матки хотя и производят потомство, но не могут «упражнять» хоботок, так как не собирают пыльцу.

Вспомним движущие силы эволюции по Ламарку (стр. 14):
1) «стремление природы к прогрессу», вследствие чего органический мир развивается от простых форм к сложным, и

2) изменяющее действие внешней среды (непосредственное на растения и низших животных и косвенное с участием нервной системы на высших животных).

Понимание Ламарком градации как постепенного повышения организации живых существ согласно «непреложным» законам, по существу, приводит к признанию веры в бога. Теория прямого приспособления организмов к условиям окружающей среды через появление у них только адекватных изменений и обязательного наследования приобретаемых этим путем признаков логически вытекает из представления об изначальной целесообразности. *Наследование приобретаемых признаков экспериментально не подтвердилось.*

Чтобы отчетливее показать основное различие у Ламарка и Дарвина в понимании механизма эволюции, приведем объяснение их собственными словами одного и того же примера.

Образование длинных ног и длинной шеи у жирафы

по Ламарку

«Известно, что это самое высокое из млекопитающих животных обитает во внутренних областях Африки и водится в местах, где почва всегда сухая и лишена растительности. Это заставляет жирафу объедать листву деревьев и делать постоянные усилия, чтобы дотянуться до нее. Вследствие этой привычки, существующей с давних пор у всех особей данной породы, передние ноги жирафы стали длиннее задних, а ее шея настолько удлинилась, что это животное, даже не приподнимаясь на задних ногах, подняв только голову, достигает шести метров (около двадцати футов) в высоту... Всякое же изменение, приобретенное органом благодаря привычному употреблению, достаточному для того, чтобы произвести данное изменение, сохраняется в дальнейшем путем размножения при условии, если оно присуще обоим индивидуумам, совместно участвующим в оплодотворении при воспроизведении своего вида. Это изменение передается дальше и переходит, таким образом, ко всем индивидуумам последующих поколений, подвергающихся воздействию тех же условий, хотя потомкам уже не приходится приобретать его тем путем, каким оно действительно было создано».

По Дарвину

«Жирафа по своему высокому росту, очень длинной шее, передним ногам, голове и языку прекрасно приспособлена к обрыванию листьев с верхних ветвей деревьев... самые высокие особи, которые были на дюйм или на два выше других, могли часто сохраняться в периоды засух, бродя в поисках за кормом по всей стране... Эта незначительная разница в размерах, обусловливаемая законами роста и изменчивости, не имеет значения для большинства видов. Но иначе было с нарождавшейся жирафой, если принять во внимание ее вероятный образ жизни».

ни, потому что те особи, у которых какая-либо или несколько разных частей тела были длиннее, чем обыкновенно, вообще должны были переживать. При скрещивании они должны были оставлять потомков или с теми же самыми особенностями строения, или с наклоном к изменению в том же направлении, тогда как особи, организованные менее благоприятно в этом отношении, должны были оказаться наиболее склонными к гибели.

...естественный отбор и охраняет и тем самым отделяет всех более высоких особей, давая им полную возможность скрещиваться, и способствует уничтожению всех более низких особей».

Теория прямого приспособления организмов к условиям окружающей среды через появление адекватных изменений и их наследование находит сторонников и в настоящее время. Вскрыть ее идеалистический характер возможно только на основе глубокого усвоения учения Дарвина о естественном отборе — движущей силе эволюции.

Относительность приспособлений организмов. Учение Дарвина о естественном отборе не только объяснило, как могла возникнуть приспособленность в органическом мире, но и доказало, что она всегда имеет относительный характер. У животных и растений наряду с полезными признаками встречаются бесполезные и даже вредные.

Вот несколько примеров бесполезных для организмов, нецелесообразных органов: грифельные косточки у лошади, остатки задних конечностей у кита, остатки третьего века у обезьян и человека, червеобразный отросток слепой кишки у человека.

Любое приспособление помогает организмам выжить только в тех условиях, в которых оно выработалось естественным отбором. Но и в этих условиях оно относительно. В яркий, солнечный день зимой белая куропатка выдает себя тенью на снегу. Заяц-беляк, незаметный на снегу в лесу, становится видным на фоне стволов, выбежав на опушку леса.

Наблюдения за проявлением инстинктов у животных в ряде случаев показывают их нецелесообразный характер. Ночные бабочки летят на огонь, хотя и гибнут при этом. Их влечет к огню инстинкт, они собирают нектар в основном со светлых цветков, хорошо заметных ночью. Самая лучшая защита организмов далеко не во всех случаях надежна. Овцы съедают без вреда для себя среднеазиатского паука-каракурта, чей укус ядовит для многих животных.

Узкая специализация органа может стать причиной гибели организма. Стриж не может взлететь с ровной поверхности, так как у него длинные крылья, но очень короткие ноги. Он взлетает, только оттолкнувшись от какого-то края, как от трамплина.

Приспособления растений, препятствующие поеданию животными, относительны. Голодный скот поедает и растения, защищенные колючками. Взаимная польза организмов, связанных

отношениями симбиоза, также относительна. Иногда грибные нити лишайника разрушают сожительство с ними водоросли. Все эти и многие другие факты говорят, что целесообразность не абсолютна, а относительна.

Экспериментальные доказательства естественного отбора. В последарвиновское время был проведен ряд экспериментов, подтвердивших наличие естественного отбора в природе. Например, рыбы (гамбузии) были помещены в бассейны с различно окрашенным дном. Птицы уничтожили 70% рыб в том бассейне, где они были более заметны, и 43% там, где они по окраске лучше подходили к фону дна.

В другом эксперименте наблюдали за поведением крапивника (отряд воробьиных), который не клевал гусениц пяденицы с покровительственной окраской, пока они не шевелились.

Опытами подтверждено значение предостерегающей окраски в процессе естественного отбора. На опушке леса разложили на досках насекомых, относящихся к 200 видам. Птицы прилетали около 2000 раз и склевывали только тех насекомых, у которых не было предостерегающей окраски.

Так же опытным путем было установлено, что большинство птиц избегает перепончатокрылых насекомых с неприятным вкусом. Клюнув осу, птица от трех до шести месяцев не трогает и осовидных мух. Потом начинает клевать их, пока не попадет на осу, после чего опять долго не трогает мух.

Производились опыты по «искусственной мимикрии». Птицы охотно поедали личинок жука — мучного хрущака, окрашенных безвкусной краской кармином. Часть личинок покрывали смесью краски с хинином или другим неприятным на вкус веществом. Птицы, натолкнувшись на таких личинок, перестали клевать всех окрашенных личинок. Опыт изменили: на теле личинок сделали различные рисунки, и птицы брали только тех, чей рисунок не сопровождался неприятным вкусом. Таким образом, у птиц возник условный рефлекс на предупреждающие яркие сигналы или рисунки.

Экспериментальное исследование естественного отбора проводилось и ботаниками. Оказалось, что сорные растения обладают рядом биологических особенностей, возникновение и развитие которых можно объяснить только как приспособления к условиям, созданным человеческой культурой. Например, растения рыжик (сем. крестоцветных) и торица (сем. гвоздичных) имеют семена, очень похожие по величине и весу на семена льна, посевы которого они засоряют. То же можно сказать о семенах погремка бескрылого (сем. норичниковых), засоряющего посевы ржи. Сорные растения созревают обычно одновременно с культурными растениями. Семена тех и других трудно отделяются друг от друга при провенвании. Человек скашивал, обмолачивал сорняки вместе с урожаем, а потом и высевал на поле. Невольно и бессознательно он способствовал естественному отбору семян различных сорных растений по линии сходства с семенами культурных растений.

10.

С д
го мир
яснито
из фак
ды до
нению
дили
зульта
между
Дн
ходит
ственн
ки как
гочисл
размно
хищно
ности
ческие
размно
нятые
перехо
деревь
призна
нятся.
Да
сеять
носящ
втором
В
нии на
к 18 ро

1. Назовите типы защитной окраски, приведите примеры. 2. Приведите примеры приспособлений у растений. 3. Как объясняли происхождение приспособленности организмов к среде Дарвин и Ламарк? В чем расходятся их взгляды по этому вопросу? 4. Приведите примеры, кроме указанных в учебнике, относительной приспособленности у растений и животных. Как объяснить относительный характер приспособлений? 5. На материале живого уголка рассмотрите примеры приспособлений растений и животных к условиям среды, в которой они живут в природе. 6. Как объяснить, согласно учению Дарвина, возникновение прелестной окраски у насекомых? 7. Как объяснить, согласно учению Дарвина о естественном отборе, происхождение: 1) долотообразного клюва у дятла; 2) аромата дикой розы; 3) крючков на плодах растений череды; 4) сходства гусеницы-пяденицы с сучком? 8. Правильно ли сформулированы вопросы: 1) зачем у шиповника яркие цветки? 2) Для чего бабочки перелетают с цветка на цветок? Аргументируйте свой ответ. Предложите свои формулировки. 9. Повторите: 1) в чем сущность искусственного и естественного отбора? 2) Что такое вид?

10. Образование новых видов

С давних пор человека поражают многообразие органического мира. Как оно возникло? Ученые пытались объяснить, как образуются новые виды. Дарвин неходит из фактов, касающихся домашних животных. Первоначально породы домашних животных были образованы по сравнению с современными. Проводились искусственный отбор в разведении скота, птицы, проводили искусственный отбор в разведении растений. В результате породы *диверсифицировались* и различались по признакам между собой и с их общей родовой группой (стр. 28).

Дивергенция в естественных условиях дивергенция происходит все время в природе, и ее движущей силой является естественный отбор. Чем больше отличаются друг от друга потомки какого-либо вида, тем легче они расселяются по более многочисленным и более разнообразным ареалам, тем легче будут размножаться. Дарвин рассуждал таким образом. Какое-то хищное четвероногое по численности достигло предела возможности существования в данной местности. Допустим, что физические условия страны не изменились, может ли этот хищник размножаться дальше? Да, если потомки захватят места, занятые другими животными. А это может произойти в связи с переходом на другую пищу или в новые условия обитания (на деревьях, в воде и т. п.). Чем разнообразнее будут по своим признакам потомки этого хищника, тем шире они распространятся.

Дарвин приводит пример. Если на одном участке земли посеять травы одного вида, а на другом, похожем, — травы, относящиеся к нескольким различным видам или родам, то во втором случае общий урожай будет больше.

В природе на участке, площадью чуть большей 1 м², Дарвин насчитал 20 различных видов растений, принадлежащих к 18 родам и 8 семействам.

Подобные факты подтверждают правильность положения, выдвинутого Дарвином: «...наибольшая сумма жизни осуществляется при наибольшем разнообразии строения...» Между распадами одного вида при их одинаковых потребностях в почве, влаге, освещении и т. д. происходит самое ожесточенное биологическое состязание. При естественном отборе будут сохраняться формы, наиболее отличающиеся друг от друга. Чем за-
знаками форм, тем больше расходятся и сами формы.

Благодаря естественному отбору процесс эволюции носит *дивергентный* характер: от одной исходной формы берет начало целый «веер» форм, как бы особые ветви от одного общего корня, но не все они получают дальнейшее развитие. Под действием естественного отбора в бесконечно длинном ряду поколений одни формы сохраняются, другие вымирают; одновременно с процессом дивергенции идет процесс вымирания, и оба они тесно связаны между собой. Наиболее расходящиеся по признакам формы обладают наибольшими возможностями выжить в процессе естественного отбора, так как они меньше конкурируют между собой, чем промежуточные и родоначальные, которые постепенно редеют и вымирают.

Разновидность — ступень к образованию вида. Дарвин представлял, что процесс образования новых видов в природе начинается с распада вида на внутривидовые группы, которые он назвал *разновидностями*.

Благодаря естественному отбору и дивергенции разновидности приобретают все более различающие их наследственные признаки и становятся особыми, новыми видами.

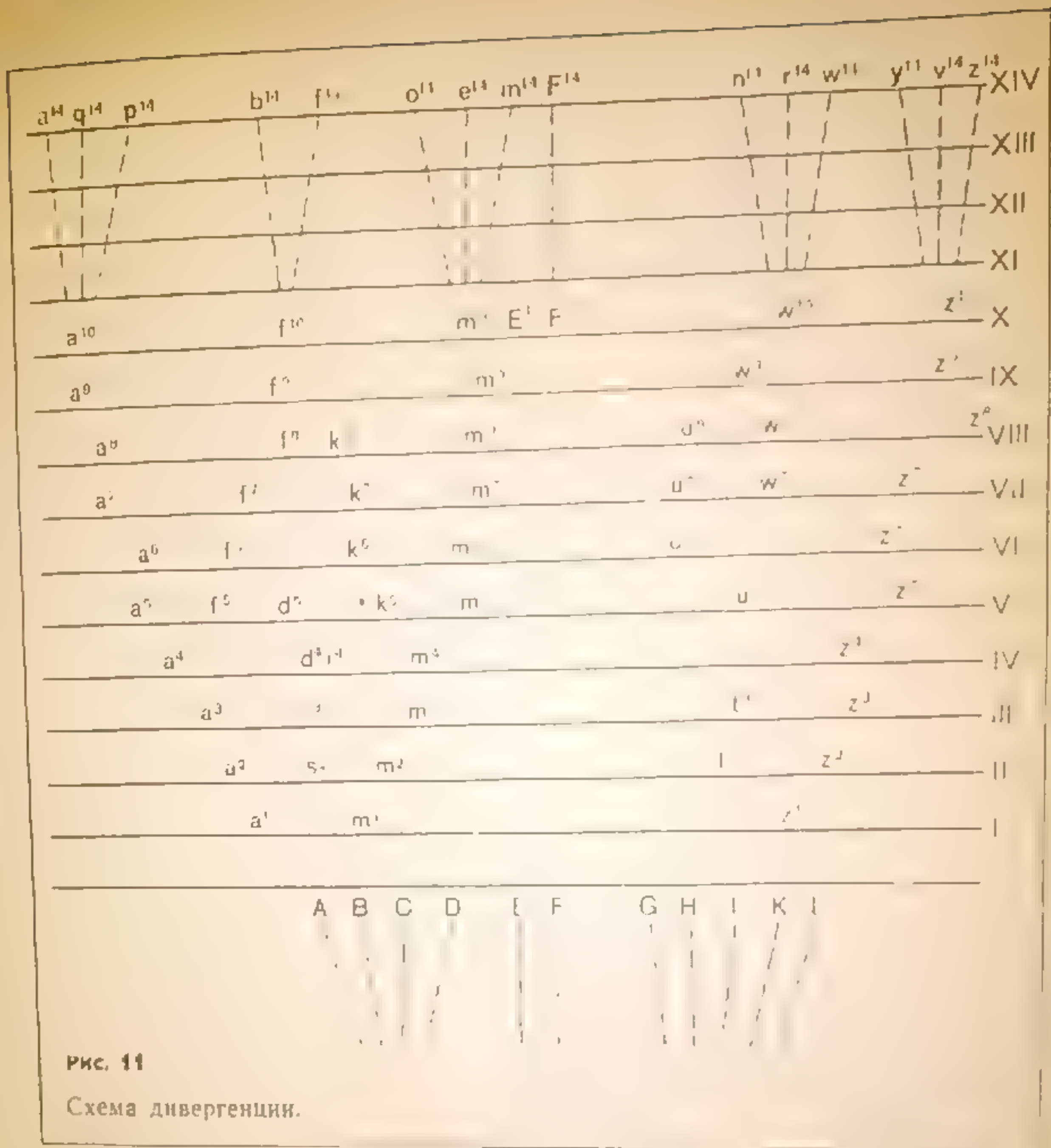
Различие между разновидностью и видом очень велико. Разновидности одного вида скрещиваются между собой и дают плодовитое потомство. Виды в естественных условиях, как правило, не скрещиваются, благодаря чему происходит биологическая изоляция видов.

Чтобы лучше пояснить, как идет процесс видообразования в природе, Дарвин предложил следующую схему (рис. 11).

На схеме изображены возможные пути эволюции 11 видов одного рода, обозначенных буквами А, В, С и т. д. — до L включительно. Расстояния между буквами показывают близость между видами.

Так, виды, обозначенные буквами D и E или F и G, менее сходны друг с другом, чем виды A и B или K и L и т. п. Горизонтальные линии означают отдельные этапы в эволюции этих видов, причем каждый этап условно принят за 1000 поколений.

Проследим эволюцию вида A. Пучок пунктирных линий из точки A изображает его потомков. В силу индивидуальной изменчивости они будут отличаться друг от друга и от родоначального вида A. Полезные изменения сохраняются в процессе естественного отбора. При этом обнаружит свое полезное действие дивергенция: признаки, наиболее различные между собой (линии a¹ и m¹ пучка), сохранятся, будут накапливаться из по-



коления в поколение и все более расходясь. Со временем систематики признают a^1 и m^1 особыми разновидностями.

Пусть в течение первого этапа — первой тысячи лет — от вида А произошли две ясно выраженные разновидности a^1 и m^1 . Под действием условий, вызвавших изменения родительского вида А, эти разновидности станут изменяться и дальше. Может быть, на десятом этапе они будут иметь такие различия между собой и с видом А, что их следует считать за два отдельных вида: a^{10} и m^{10} . Часть разновидностей будет вымирать, и, возможно, десятого этапа достигнет только f^{10} , образуя третий вид. На последнем этапе представлены 8 новых видов, взявших начало от вида А: a^{14} , q^{14} , p^{14} , b^{14} , f^{14} , o^{14} , e^{14} и m^{14} . Виды a^{14} , q^{14} и p^{14} ближе друг к другу, чем к остальным видам, и образуют один род, остальные виды дают еще два рода (поясните это, пользуясь схемой). Эволюция вида I протекает сходным образом (проследите это по схеме).

Судьба других видов иная: из них только виды Е и F доживают до десятого этапа, вид Е потом вымирает. Особо заметьте вид F¹⁴: он сохранился до нашего времени почти неизменным по сравнению с родоначальным видом F. Так может произойти, если условия окружающей среды не изменяются или очень мало изменяются в течение длительного времени.

Дарвин подчеркивал, что в природе не всегда сохранялись лишь наиболее расходящиеся, крайние разновидности, средние также могли выжить и дать потомство. Один вид может обогнать другой в своем развитии; из крайних разновидностей иногда развивается только одна, но может развиваться и три. Все зависит от того, как складываются бесконечно сложные отношения организмов между собой и с окружающей средой.

Примеры видообразования. Приведем примеры образования видов, причем будем пользоваться термином *подвид*, принятым в науке вместо «разновидность».

Широко расселенные виды, например медведь бурый, заяц-беляк, лисица обыкновенная, белка обыкновенная, встречаются от Атлантического до Тихого океана и имеют большое число подвидов. В средней полосе СССР произрастает более 20 видов лютика. Все они произошли от одного родоначального вида. Потомки его захватили различные места обитания — степи, леса, поля — и благодаря дивергенции постепенно обособились друг от друга сначала в подвиды, потом в виды (рис. 12). Ознакомьтесь с другими примерами на том же рисунке.

Видообразование продолжается и в наше время. На Кавказе живет сойка с черным оперением на затылке. За самостоятельный вид ее еще нельзя считать, это подвид обыкновенной сойки. В Америке встречается 27 подвидов певчего воробья. Большинство из них внешне мало отличаются один от другого, но некоторые имеют резкие отличия. Со временем промежуточные по своим признакам подвиды могут вымереть, а крайние станут самостоятельными молодыми видами, потеряв способность скрещиваться друг с другом.

Значение изоляции. Обширность территории расселения вида благоприятствует естественному отбору и дивергенции. Это происходит при расселении какого-либо вида в обособленных друг от друга местностях. В подобных случаях проникновение организмов из одной местности в другую сильно затруднено и возможность скрещивания между ними резко снижается или совершенно отсутствует.

Приведем примеры. На Кавказе в разделенных высокими горами местностях водятся особые подвиды бабочек, ящериц и пр. В озере Байкал живут многие виды и роды ресничных плоских червей, ракообразных и рыб, больше нигде не встречающихся. Это озеро отделено от других водных бассейнов горными хребтами уже около 20 млн. лет и только через реки сообщается с Северным Ледовитым океаном.

В других случаях организмы не могут скрещиваться вследствие **биологической изоляции**. Например, два вида воробья —

Рис. 12.



Дивергенция в роде лютиков:

1 — лютик жестколистный; 2 — лютик-прыщинец; 3 — лютик золотистый; 4 — лютик кассубийский; 5 — лютик ядовитый



Дивергенция в роде синиц:

1 — большая синица; 2 — лазоревка; 3 — хохлатая синица; 4 — галчак; 5 — московка.



Изменение формы клюва у подвидов камышовый овсянки

домовый и полевой — зимой держатся совместно, но гнездятся они обычно по-разному: первый — под крышами домов, второй — в дуплах деревьев, по опушкам леса. Вид черного дрозда в настоящее время распадается на две группы, еще неразличимые внешне. Но одна из них обитает в глухих лесах, другая держится близ жилья человека. Это начало образования двух подвидов.

Конвергенция. В сходных условиях существования животные различных систематических групп иногда приобретают сходные приспособления к окружающей среде, если подвергается действию одного и того же отбирающего фактора. Этот процесс получил название *конвергенции* — схождения признаков. Например, передние роющие конечности крота и медведки очень сходны, хотя эти животные относятся к разным классам. Сильно напоминают друг друга по форме тела китообразные и рыбы, сходны конечности у плавающих животных, относя-



щихся к разным классам. (Приведите другие примеры.) Конвергентными бывают и физиологические особенности. Накопление жира у ластоногих и китообразных объясняется результатом естественного отбора в условиях водной среды: уменьшает потерю тепла организмом.

Конвергенция в пределах далеких систематических групп (типов, классов) объясняется только действием сходных условий существования на течение естественного отбора (рис. 13). На конвергенцию у сравнительно близкородственных животных влияет еще и единство их происхождения, которое как бы облегчает возникновение сходных наследственных изменений. Именно поэтому она и наблюдается чаще в пределах одного и того же класса.

Многообразие видов. Учение Дарвина об эволюции органического мира объясняет многообразие видов как неизбежный результат естественного отбора и связанной с ним дивергенции признаков.

Постепенно в процессе эволюции виды усложнялись, органический мир поднимался на все более высокую ступень развития. Однако повсюду в природе одновременно сосуществуют животные и растения, обладающие разной степенью сложности своей организации.

Почему же естественный отбор не «поднял» все низкоорганизованные группы на высшую ступень организации?

Естественным отбором все группы растений и животных приспособлены лишь к своим условиям существования, поэтому и не могли подняться все на одну и ту же высокую ступень организации. Если эти условия не требовали повышения сложности строения, то степень ее и не повышалась потому, что, по словам Дарвина, «при очень простых жизненных условиях высшая организация не оказала бы никакой услуги». В Индийском океане при более или менее постоянных условиях обитают

виды головоногих моллюсков (наутилусов), почти не изменившиеся на протяжении многих сотен тысячелетий. То же относится к современным кистеперым рыбам.

Таким образом, одновременное сосуществование организмов разной сложности строения объясняется теорией естественного отбора и дивергенцией.

Результаты естественного отбора. Естественный отбор имеет три тесно связанных важнейших следствия: 1) постепенное усложнение и повышение организации живых существ; 2) приспособленность организмов к условиям внешней среды; 3) многообразие видов.

1. Рассмотрите дарвиновскую схему видообразования (стр. 45) и объясните, как идет этот процесс в природе.
2. Приведите примеры образования новых видов в настоящее время.
3. Что такое конвергенция? Объясните, почему это явление чаще имеет место в пределах одного класса.
4. Как объяснить одновременное сосуществование в природе организмов разной степени сложности?

II. Современная система растений и животных — отображение эволюции

Систематические группы. В настоящее время систематики распределяют организмы по группам, используя систематические категории: тип, класс, отряд, семейство, род, вид. Для обширных систематических групп добавляют промежуточные категории: подклассы, подотряды, подсемейства и пр. Многочисленность систематических категорий вызывается чрезвычайным многообразием видов и стремлением ученых дать такую систему растительного и животного мира, которая отображала бы родственные связи между группами организмов.

Вспомните схему дивергенции признаков (стр. 45). При небольшом изменении она может быть представлена в таком виде (рис. 14).

Эта схема наглядно показывает образование не только новых видов, но и высших систематических групп (отряды, семейства, роды). Продолжите составление схемы до образования типов включительно.

Схема отображает постепенное расхождение видов, имеющих общего предка. Родство видов между собой определяется общим происхождением, и поэтому в ряде случаев систематическая группа является естественной группой.

Принципы современной классификации. Искусственная система строилась на немногих произвольно взятых признаках (вспомните классификацию растений Линнея). Попытки создать естественную систему до Дарвина не могли быть успешными, так как натуралисты искали в ней отображение порядка, якобы установленного в природе творцом, а не родство организмов между собой.

Рис. 14.



В настоящее время при классификации растений и животных учитывают признаки, свидетельствующие о родстве видов как с ныне живущими, так и с вымершими. Признаки приспособительного характера могут быть весьма сходными, но оказаться результатом конвергенции, а не общего происхождения. Дельфин и акула внешне похожи, хотя по происхождению они далеки друг от друга.

Определяя место животного или растения в системе, учитывают совокупность его признаков в различном возрасте, а также признаки, обнаруженные у ископаемых предков.

В современной системе виды распределяют по группам на основе связей между ними по происхождению, что отображает самый ход эволюции. Поэтому современная система в отличие от додарвиновской искусственной показывает большую или меньшую степень родства видов, объединяемых в один род, родов — в одно семейство и т. д. Тем не менее она еще далека от естественной, так как происхождение некоторых групп не выяснено.

Реальность вида. Факты распада вида на подвиды — прекрасное доказательство непостоянства и изменчивости видов.

Но если виды текучи и изменчивы, то действительно ли они существуют в природе?

Линней полагал, что виды на самом деле существуют в природе, но они постоянны, неизменны и сотворены каждый в отдельности, т. е. он отрицал их историческое развитие (стр. 11). Ламарк доказал развитие живой природы, но считал вид отвлеченным понятием, которым пользуются для удобства при классификации (стр. 13). Только к концу жизни он высказался за реальность вида.

Итак, вот два взаимоисключающих положения:

1. Виды существуют, но развития нет (Линней).
2. Развитие происходит, но видов нет (Ламарк).

Дарвин объединил идею об эволюции органического мира

дов в природе, допустив, что виды существуют в природе временно. Это положение подтверждается изучением ископаемых остатков вымерших видов, ранее населявших Землю.

Популяции. В зависимости от микроклимата, наличия и характера кормовых объектов, врагов, почвы и т. п. вид расселялся на ареале неравномерно, с перерывами, как бы пятнами — популяциями.

Популяцией называют естественную группировку особей одного вида на отдельном участке его ареала.

Представители любого вида в определенном месте образуют местную популяцию.

Большинство видов распространено на территории многих местных популяций, но некоторые — только на одной или нескольких местных популяциях. Совокупность местных популяций одного вида с отклонениями по возрасту, размеру, форме, окраске и т. п. составляет экологическую популяцию. Например, в сосновом лесу, то есть в определенном месте, обитает популяция словенских мушкетеров, а в сосновом лесу в другом месте — популяция словенских мушкетеров. В пределах ареала вида, сгруппированные по географическим границам, называются географическими популяциями.

Размеры и границы популяций зависят от многих факторов. В годы массового размножения насекомых, мышевидных грызунов, насекомых вредителей, болезнетворных микробов возникают географические популяции. У животных растений и животных с большой плодовитостью популяция относительно малой площади, но с большим количеством особей более устойчивая.

Совокупность географических популяций с устойчивыми признаками, ареалом, способностью скрещиваться и давать плодовитое потомство называется подвидом.

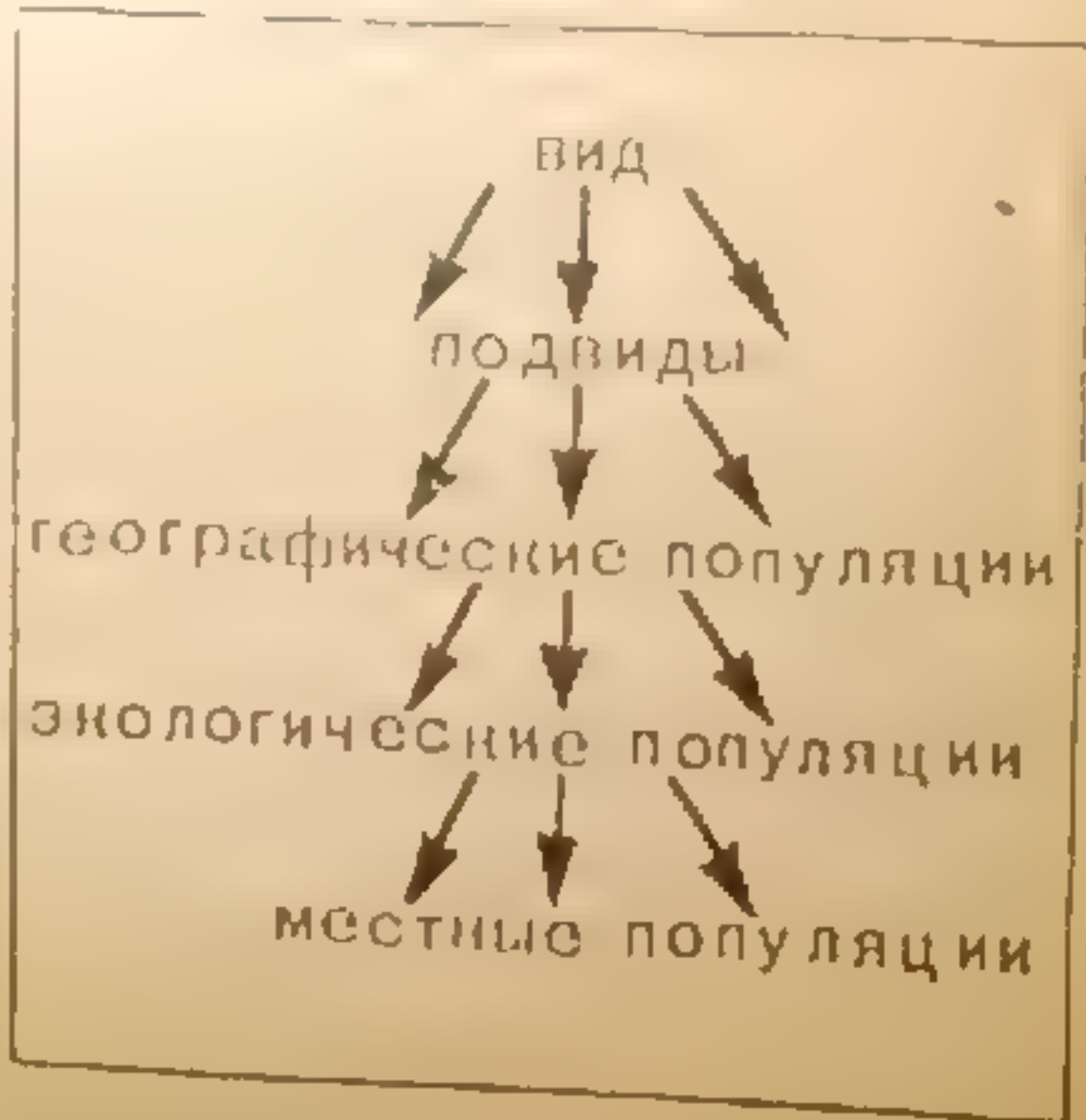
Схема, помещенная ниже, показывает следующее:

Внутри одной и той же популяции особи и группы их не вполне одинаковы по своим особенностям в силу изменчивости.

Популяция постоянно включает различные изменения и потому служит полем деятельности естественного отбора. Процессы видообразования начинаются внутри популяций. В этом смысле можно сказать, что виды живут популяциями.

В свете теории Дарвина о естественном отборе вид — это качественно особый, неповторимый этап в развитии органического мира.

Вид представляет собой результат эволюции, протекавшей в прошлые геологические эпохи. Вместе с тем вид, если



он не вымерший, является современным этапом эволюции органического мира, в чем можно убедиться, изучая видообразование, происходящее в настоящее время. Следовательно, вид имеет возможности для дальнейшей эволюции в будущем, поскольку она начинается в популяциях — в пределах вида.

1. Дайте определение вида и подвида. Изобразите графически структуру вида. 2. Что вы знаете о популяциях? 3. Укажите различия в понимании вида Линнеем, Ламарком, Дарвином.

12. Значение теории Дарвина

Оценка дарвинизма основоположниками марксизма-ленинизма. Теорией естественного отбора Дарвин утвердил историческое понимание живой природы, блестяще разрешил вопросы о причинах развития органического мира от простых форм к сложным, от низших к высшим, многообразия видов и органической целесообразности. Он показал, что все эти считавшиеся неразрешимыми до него загадки природы — неизбежные следствия естественного отбора и связанной с ним дивергенции признаков.

Дарвин вскрыл относительный характер целесообразности, доказав наличие у организмов не только полезных и безразличных, но даже и вредных признаков, и пользу любых приспособлений только в данных условиях среды. Теория Дарвина материалистически объяснила явления живой природы и тем самым опровергла идеалистическое истолкование их.

Вот почему дарвинизму была дана высокая оценка основоположниками марксизма-ленинизма. Известно, что Ф. Энгельс через две недели после выхода «Происхождения видов» в свет восторженно отозвался о нем в письме к К. Марксу. Ф. Энгельс подчеркнул, что Дарвин своей теорией разрушил идеалистические представления об органическом мире. Он особо отметил, что Дарвин с большим успехом сделал грандиозную попытку доказать историческое развитие в природе. Поэтому его теория является одним из величайших достижений науки XIX в. наряду с доказательством превращения энергии и открытием клетки.

Маркс и Энгельс многократно указывали на огромное значение теории Дарвина для развития науки и для доказательства материалистического мировоззрения. К. Маркс подчеркивал, что трудом Дарвина «Происхождение видов» нанесен смертельный удар телеологии (т. е. антинаучному, религиозному объяснению целесообразности в явлениях природы заранее установленными целями) в естественных науках. О значении «Происхождения видов» Маркс писал: «эта книга является естественнo-исторической основой для наших взглядов».

Ф. Энгельс и В. И. Ленин сравнивали вклад, сделанный Дарвином в биологическую науку, с заслугами Маркса в обще

ор.
азо-
вид
по.
руж-
по-
ни-
ри-
осы
м к
ани-
еся
лед-
при-
ости,
лич-
соб-
ате
мым
ово-
ельс
свет
Эн-
али-
собо
ую
тому
ауки
от-
зна-
тель-
ерки-
мер-
ному
анее
ении
ается
Дар-
ше-

ственных науках. Подобно тому как Дарвин открыл законы развития живой природы, так Маркс открыл законы развития общества.

В. И. Ленин указал, что Дарвин впервые поставил биологию на вполне научную почву, положив конец воззрению на виды животных и растений как на ничем не связанные, случайные, созданные богом и неизменяемые.

Влияние дарвинизма на развитие биологии Дарвинизм обобщает факты из различных отраслей биологической науки, которая благодаря дарвинизму и сама получила новое направление развития. До Дарвина естествознание было преимущественно описательной наукой. Теория Дарвина показала, что при изучении явлений живой природы надо вскрывать их причинно-следственные связи и применять исторический метод в исследованиях.

На основе дарвинизма была произведена перестройка всех отраслей биологической науки. Так, в сравнительной анатомии и сравнительной эмбриологии стали устанавливать родственные связи между систематическими группами животных и растений, изучение органов и тканей стало связано с вопросом их функционирования.

Систематика животных и растений приобрела эволюционный характер: естественная система отображает развитие видов.

Палеонтология, которая была до Дарвина статической, так как ставила целью только собрать, описать и систематизировать факты, превратилась в историческую науку. Новая материал о прошлом органического мира, она выясняет пути его развития.

Физиология животных и тем более человека долгое время оставалась прибежищем для идеалистического толкования основных жизненных процессов. На основе учения Дарвина началось сравнительное изучение проявлений жизни животных, исторической преемственности высшей нервной деятельности человека и животных.

Распространение животных и растений на земном шаре стали рассматривать в связи с историей материков и историческим развитием органического мира.

В начале XX столетия началось экспериментальное изучение действия естественного отбора, стали быстро развиваться генетика (наука о наследственности и изменчивости), экология (наука о взаимоотношениях между организмами и окружающей их средой) и другие новые биологические науки.

Учение Дарвина об отборе явилось одной из важнейших основ современного выведения новых пород животных и сортов растений на научных основах.

Идеи Дарвина в России. В 60-е годы минувшего столетия с быстрым развитием промышленности стало важным распространение естественнонаучных знаний. Задолго до Дарвина эволюционные взгляды высказывали некоторые русские ученые и находили сочувствие и поддержку со стороны прогрессивно

мыслящих современников. Вот почему дарвинизм в России был встречен как нечто долгожданное. В первые же годы после выхода в свет «Происхождения видов» (1859) в русских журналах появились ряд талантливых статей с изложением и комментариями учения Дарвина. Курсы зоологии и ботаники, читавшиеся в высших учебных заведениях, перестраивались либеральной частью профессуры в духе дарвинизма. Первый перевод «Происхождения видов» появился в России в 1864 г.

Ведущая роль в развитии биологической науки на основе дарвинизма принадлежала русским ученым. Братья В. О. и А. О. Ковалевские, К. А. Тимирязев, И. И. Мечников, И. И. Пашлов, И. В. Мичурин, И. И. Вавилов, А. Н. Северцов и многие другие, ставшие корифеями русской и мировой науки, положили в основу своих исследований идеи Дарвина.

Вся научная деятельность К. А. Тимирязева (1843—1920) прошла под знаком пламенного служения дарвинизму. Ему принадлежит блестящее, с глубоким и тонким анализом, изложение учения Дарвина в книге «Чарлз Дарвин и его учение», которая многократно переиздавалась в СССР; на ней воспитывались многие поколения русской интеллигенции.

Своей специальностью К. А. Тимирязев избрал физиологию растений, в то время самую молодую биологическую науку. Тимирязев ввел исторически, дарвиновский метод в физиологию. Это означало то, что все жизненные особенности растений К. А. Тимирязев рассматривал исходя из теории Дарвина о естественном отборе. Он занимался изучением фотосинтеза — процесса создания органического вещества и накопления солнечной энергии зеленым растением.

Тимирязев экспериментально установил, что зеленый лист приспособлен к поглощению и накоплению солнечной энергии, т. е. к осуществлению фотосинтеза. Следовательно, зеленая окраска листа — полезный признак, который возник в процессе естественного отбора. Разрабатывая вопросы физиологии растений, К. А. Тимирязев указывал на необходимость исследований наследственных изменений, чтобы научиться управлять развитием организмов и получением новых пород и сортов.

Тимирязев страстно защищал дарвинизм от попыток некоторых ученых извратить или умалить его значение. Одни пытались свести весь процесс эволюции к появлению изменений, другие признавали в качестве единственного фактора эволюции наследственность, третьи не признавали творческую роль естественного отбора и т. п. Одновременно К. А. Тимирязеву приходилось разбивать критику дарвинизма со стороны реакционно мыслящих ученых, отрицавших идею исторического развития природы и открыто поддерживавших религию.

1. Почему учение Дарвина об эволюции органического мира получило высокую оценку основоположников марксизма-ленинизма? 2. Каково влияние оказало учение Дарвина на развитие биологической науки? 3. Каково значение имеет учение Дарвина в воспитании материалистического мировоззрения?

ДОКАЗАТЕЛЬСТВА И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ЭВОЛЮЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

Ко второй половине XIX в. в биологической науке накопились обширные фактические данные, которые Ч. Дарвин использовал как доказательства эволюции. Позднее был собран новый огромный материал, который не только доказывает самый факт эволюции, но и позволяет судить о том, как происходил процесс эволюции. Его закономерности каждая биологическая наука изучает, применяя свой метод исследования. Так, анатомия устанавливает общее в строении современных организмов различных систематических групп сравнением их между собой. Эмбриология обнаруживает черты сходства у ныне живущих организмов, сравнивая их индивидуальное развитие из яйца или споры до момента рождения. Палеонтология изучает остатки вымерших организмов и выявляет сходство их и различие с современными. География раскрывает причины распространения растений и животных на Земле. Каковы же основные методы биологии и вместе с тем ее доказательства?

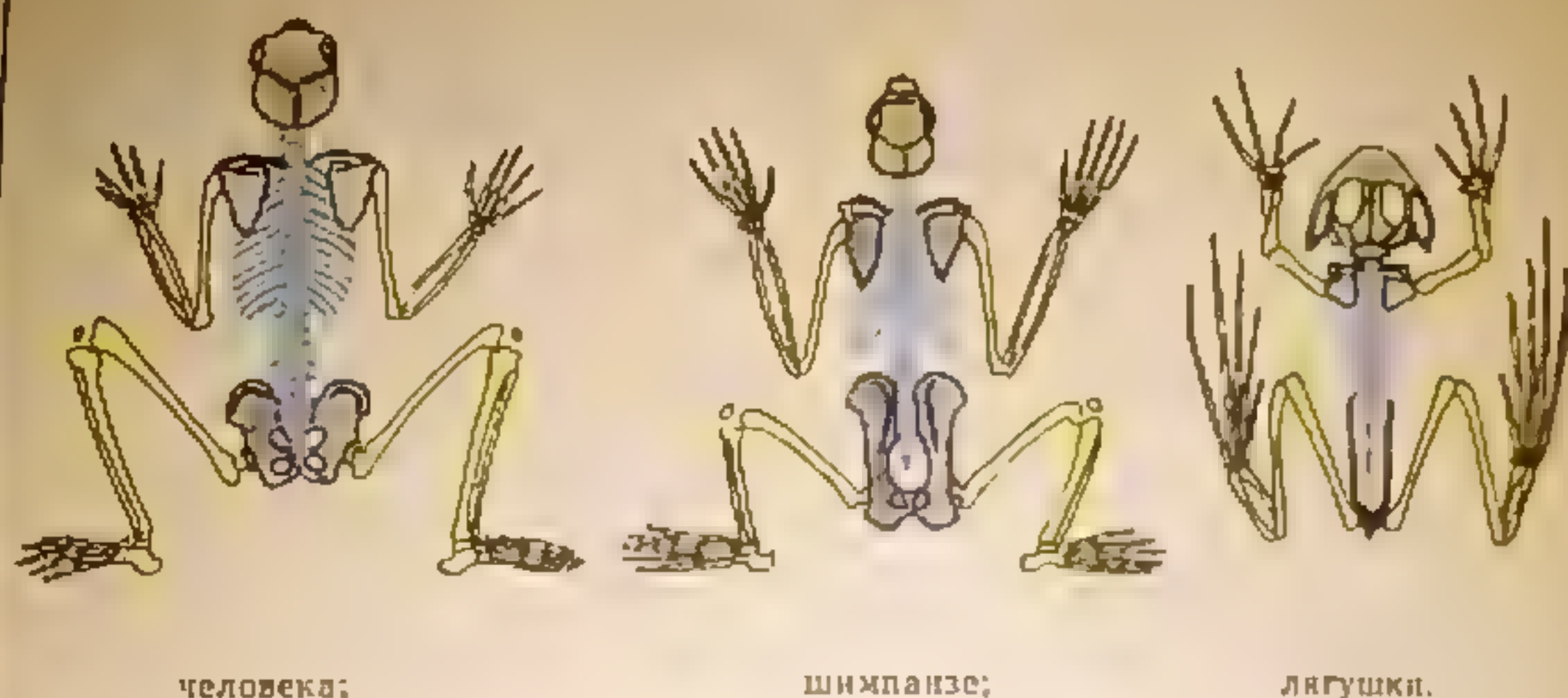
13. Сравнительная анатомия

Общий план строения позвоночных животных. Несмотря на крупные различия во внешнем виде, образе жизни и поведении между позвоночными животными, принадлежащими к разным классам, у них можно найти много общего в строении и расположении органов. Наличие двусторонней симметрии, полости тела, позвоночника, черепа, головного и спинного мозга, а также двух пар конечностей и др. (рис. 15) свидетельствует о единстве происхождения всех позвоночных.

Гомология. Сравнение отдельных органов у позвоночных животных, относящихся к разным классам, дает не менее убедительное доказательство. Передние конечности позвоночных, несмотря на различные функции, имеют единый план строения, развиваются у зародышей из исходных зачатков с одинаковым расположением на теле животного. Скелет передних конечностей состоит из плеча, предплечья, образованного локтевой и лучевой костями, костей запястья, пястья и фаланг пальцев. В скелете задних конечностей также находим единый план строения: бедренную кость, большую и малую берцовые кости, кости предплюсны и плюсны.

Органы, соответствующие друг другу по строению и происхождению, называются гомологичными.

Рассмотрите форзац 4, укажите гомологичные кости, отметьте отличия, связанные с дивергенцией и приспособлением к различным условиям жизни и к выполнению разных функций.



человека;

шимпанзе;

лягушки.

Полное соответствие в костях конечностей, несмотря на некоторые отличия в форме, размерах, количестве, может быть объяснено только их единством происхождения. Гомологи имеют место и в конечностях различных насекомых (форзац 4). Укажите гомологичные части.

Гомологичные органы наблюдаются и у растений (форзац 4). Усики посевного гороха, иглы барбариса, колючки кактусов — видоизмененные листья. Лепестки в цветке белой кувшинки гомологичны тычинкам, утратившим в процессе эволюции способность образовывать пыльцу. В этом цветке виден переход от лепестков к тычинкам. Корневища купены, папоротника, ландыша, клубни картофеля, «донце» репчатого лука, являющиеся подземными побегами, — гомологи стебля.

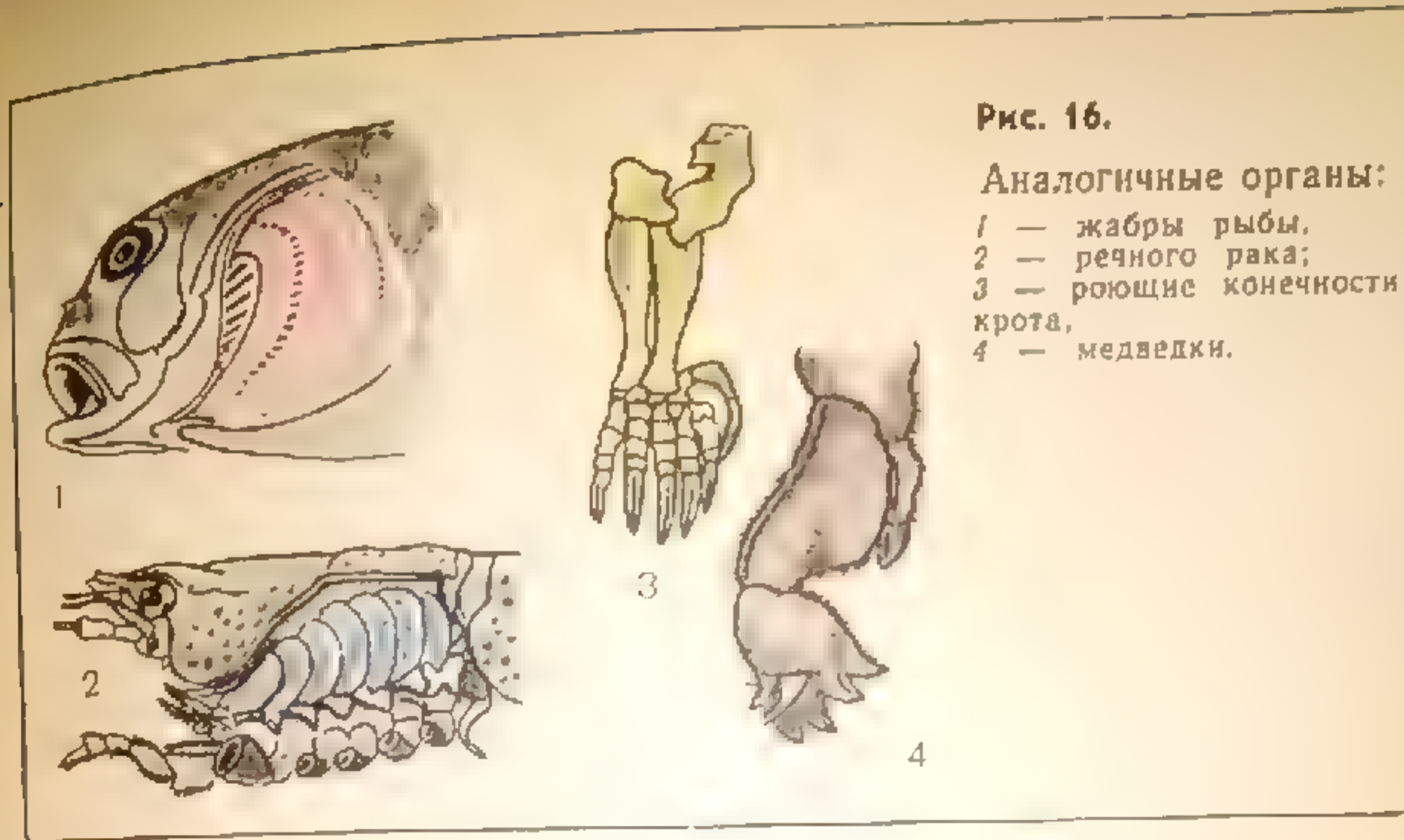
Аналогия. У многих животных различных систематических групп есть конвергентные органы. Крылья птицы, бабочки и летучей мыши нужны для полета. Но крылья бабочки — особое образование на спинной стороне груди, а крылья птицы и летучей мыши — измененные передние конечности.

Органы, выполняющие однородные функции, но не имеющие общего строения и происхождения, называются аналогичными. Для установления родства между организмами они не имеют никакого значения. Аналогичны жабры рыбы и речного рака, роющие конечности крота и медведки (рис. 16).

Примером аналогичных органов у растений могут служить колючки и шипы, которые выполняют сходную функцию (защита от поедания животными), но образуются они различно. Колючки кактусов и иглы барбариса листового происхождения, у боярышника они стеблевого происхождения, а шипы розы, шиповника, малины — это выросты эпидермиса.

Рудименты и атавизмы. Рудиментами называют органы, утратившие в процессе эволюции свое первоначальное значение для сохранения вида и находящиеся в стадии исчезновения («рудиментум» — зачаток, лат., здесь: остаток).

Нап
тарный
а перв
пы кор
называ
ней кон
рудиме
далеки
но в пр
и сохра
Руд
го разв
вина н
ях, сл
образн
Руд
на кон
это руд
дыша,
шуйки
нивяни
сложно
чинки
Ист
также
вают с
В к
ей пар
хожде
пример
ными,
лошад
лошад



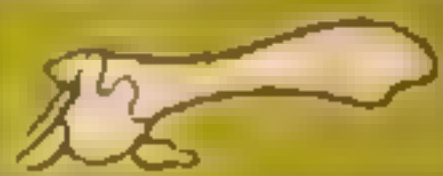
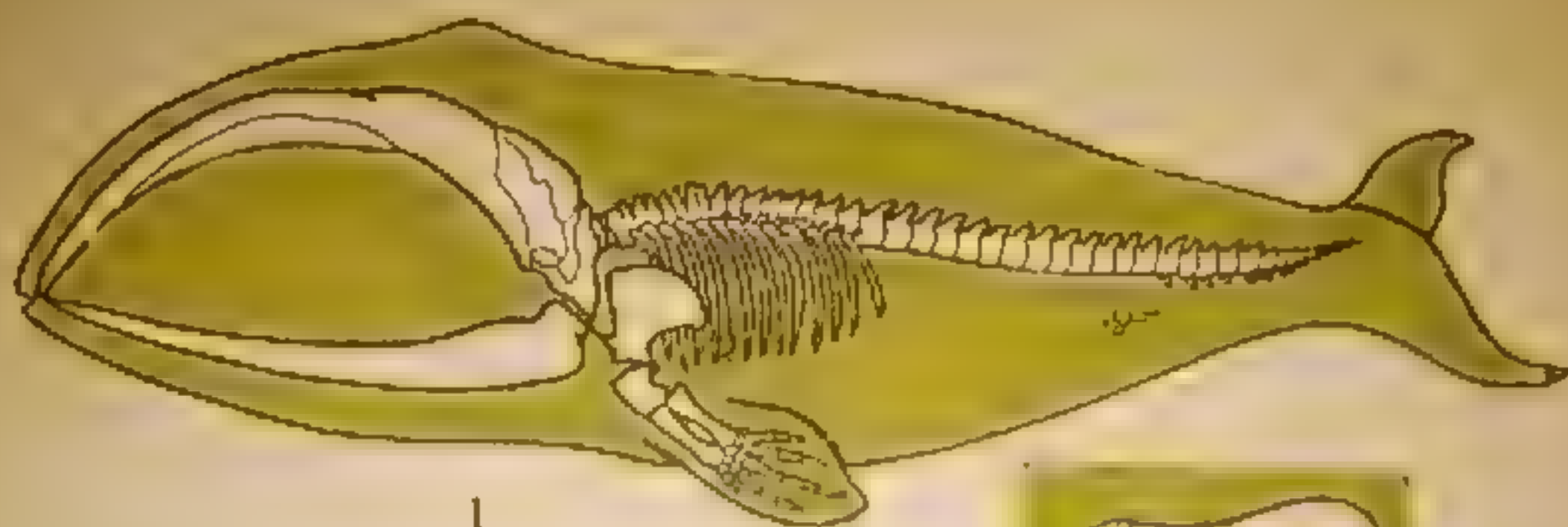
Например, у безногой ящерицы-веретеницы есть рудиментарный плечевой пояс. У птиц сохранился лишь второй палец, а первый и третий рудиментарны. Второй и пятый пальцы стопы коровы и свиньи, второй и четвертый пальцы лошади (так называемые грифельные косточки), остатки костей таза и задней конечности у кита (рис 17) также рудиментарны. Наличие рудиментов возможно объяснить только тем, что эти органы у далеких предков были нормально развиты и функционировали, но в процессе эволюции потеряли свое биологическое значение и сохранились в виде остатков.

Рудименты служат важными доказательствами исторического развития органического мира. Ни один из противников Дарвина не пытался сослаться на рудименты в своих возражениях, слишком нелепо было бы приписывать создание нецелесообразных, бесполезных органов «разумной высшей силе».

Рудиментарные органы наблюдаются и у растений. Весной на концах чешуек почек у клена видны маленькие листочки — это рудименты настоящих листьев. На корневищах пырея, ландыша, папоротника, комнатного растения аспидистры есть чешуйки — рудиментарные листья. В краевых цветках соцветия нивяника, астр, бархатцев, подсолнечника и многих других сложноцветных под лупой хорошо заметны недоразвитые тычинки и пестики.

Историческое развитие органического мира подтверждают также атавизмы («катавус» — предок, лат.) Атавизмами называют случаи возврата к признакам предков.

В качестве примера может служить появление иногда третьей пары сосков на вымени коровы, что указывает на ее происхождение от животных с числом сосков больше чем 4. Другой пример: иногда жеребята рождаются зебровидно окрашенными, есть случаи появления черной полосы на спине гнедых лошадей. Это возврат к масти диких предков домашней лошади.



Скелет кита — 1;
рудимент тазового пояса — 2.

Переходные формы. Сравнительно-анатомическое изучение организмов позволяет установить переходные формы.

Переходными формами называют такие, которые соединяют в своем строении признаки низших и высших классов. Например, в строении низших млекопитающих имеются черты, приближающие их к пресмыкающимся. Утконос и ехидна (отряд однопроходных) обладают клоакой и при размножении откладывают яйца подобно пресмыкающимся.

Клеточное строение. Открытие клеточного строения растений, животных и человека принесло одно из самых веских доказательств единства органического мира. Живые организмы, принадлежащие к видам, далеким в систематическом отношении, состоят из клеток.

?

➤

1. Пользуясь форзацем 4, отметьте гомологичные кости в конечностях позвоночных. 2. Пользуясь живыми насекомыми, коллекциями, рассмотрите строение конечностей различных насекомых (жука-плавунца, кузнечика или других). Отметьте гомологичные части. 3. Укажите гомологичные и аналогичные органы среди следующих: жабры рыбы, крыло птицы, летучей мыши, жука; личинки стрекозы-коромысла; крыло птицы, летучей мыши, жука; передние конечности крота, лягушки, медведки. 4. Какие сравнительно-анатомические данные Дарвин считал наиболее вескими? Почему? 5. Составьте коллекции гомологов, аналогов и рудиментов у растений. (Задание рассчитано на длительное время, необходимое для сбора материалов.)

14. Эмбриология

Сходство зародышей. Все многоклеточные организмы развиваются из оплодотворенного яйца. Процессы оплодотворения и развития зародышей различных животных протекают во многом сходно. Подобные факты можно объяснить только общим происхождением всех живых существ.

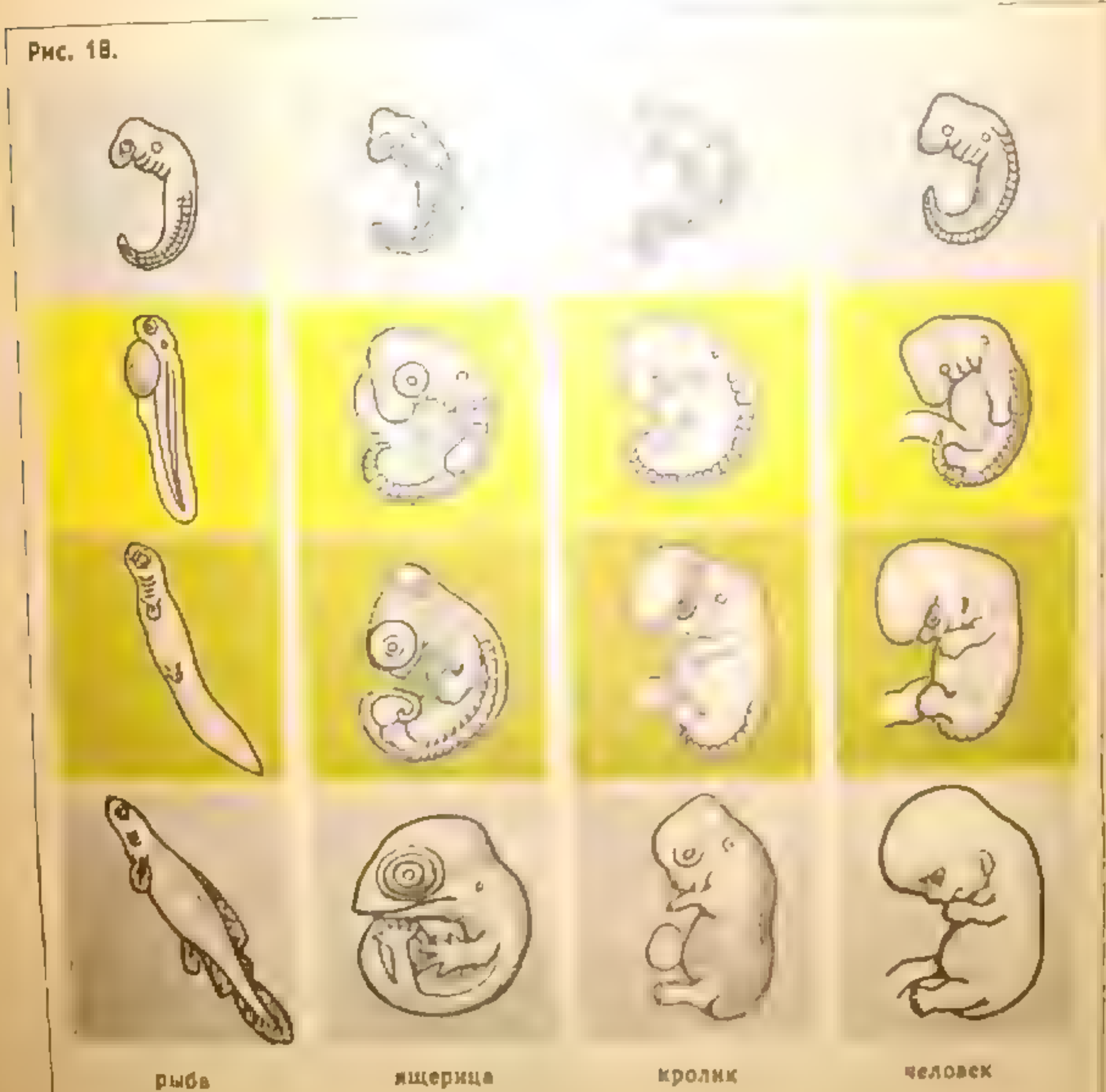
Про-
различ-
вятия
ла, на-
ловы, г
Рас-
черты
классо-
классо-
тем в
телей
Зар-
сначал-
лоб вь-
ния во-
ружива-

Проследим сходство между зародышами представителей различных классов позвоночных. На более ранних стадиях развития (рис. 18) отмечаются удивительно похожие контуры тела, наличие хвоста и зачатков конечностей, сходная форма головы, по бокам глотки жаберные карманы.

Расхождение признаков у зародышей. По мере развития черты сходства между зародышами представителей разных классов становятся менее заметными, и тогда видно, к каким классам относятся зародыши (проследите по рисунку 18). За пределами класса можно различить зародышей представителей отрядов. Постепенно намечаются признаки рода и вида.

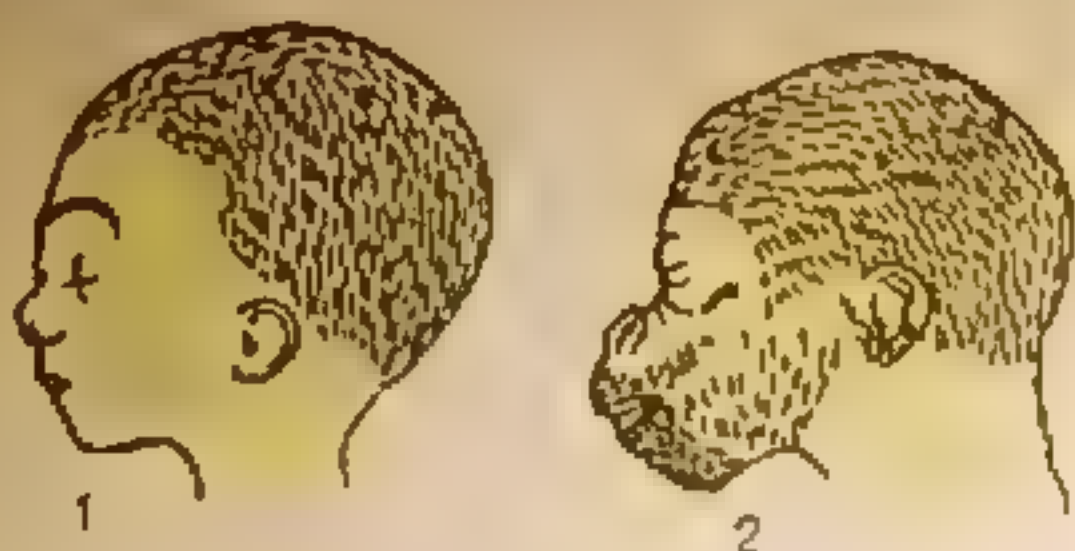
Зародыши человекообразной обезьяны, гориллы и человека сначала сходны (рис. 19). Позднее у человекообразного зародыша лоб выступает вперед и определяется обилие распределения волосяного покрова, а у зародыша гориллы заметно обнаруживаются выдающиеся черты. Расхождение признаков

Рис. 18.



Сравнение зародышей позвоночных на разных стадиях развития.

Рис. 19.



Голова человеческого
зародыша — 1;
голова зародыша гориллы — 2.

Рис. 20. Кровеносная система



акулы — 1. человеческого
зародыша — 2
Между жаберными щелями
проходят кровеносные сосуды.

наблюдается в индивидуальном развитии всех позвоночных животных.

Биогенетический закон. Во второй половине XIX в. немецкие ученые Ф. Мюллер и Э. Геккель установили так называемый биогенетический закон: *индивидуальное развитие каждой особи есть краткое повторение исторического развития вида, к которому эта особь относится.*

Геккель считал, что в индивидуальном развитии надо различать два рода признаков: одни из них древнего характера, они повторяют особенности строения предков, а другие более позднего происхождения, они являются приспособлениями к условиям зародышевого и личиночного развития. Примером признаков первого рода могут служить имеющиеся у зародышей всех наземных позвоночных сосуды, отходящие от сердца, подобно жаберным артериям рыб (рис. 20), жаберные щели и хвост у человеческого зародыша. Наличие этих признаков можно объяснить только повторением истории вида в индивидуальном развитии. Так, гусеница бабочки, личинка жука согласно биогенетическому закону повторяют червеобразную стадию предков насекомых. Головастики у лягушки — повторение рыбообразной стадии предков земноводных.

Примерами приспособительных признаков можно назвать оболочки у зародышей млекопитающих и птиц, играющие защитную роль, желточный мешок у малька форели с запасом питательных веществ, нитевидные выросты оболочки яйца у акулы, которыми оно прикрепляется к подводной растительности, присоски, наружные жабры, хвост у головастика (рис. 21).

Биогенетический закон приложим к растениям. При развитии почек у клена, бузины, малины можно заметить переход почечных чешуй в листья. Чашелистики бутонов гортензии зеленые, что показывает их типичное листовое происхождение, потом они становятся белыми, розовыми и пр. (ошибочно их иногда называют лепестками).

Рис. 21.



Присп
состоя
I — ме
II —
V — гол

Биог
бокую
их исто
нения р

Совр
генетиче

нениям
ния о н
дам А. В

Иссл
тии про

их заро
у зарод

чает, чт

лись и

взросло

ученого

ное сло

ного ас

ют, име

ет эти

жен (р

раз жи

ланцети

щие с

кель б

органи

тера. О

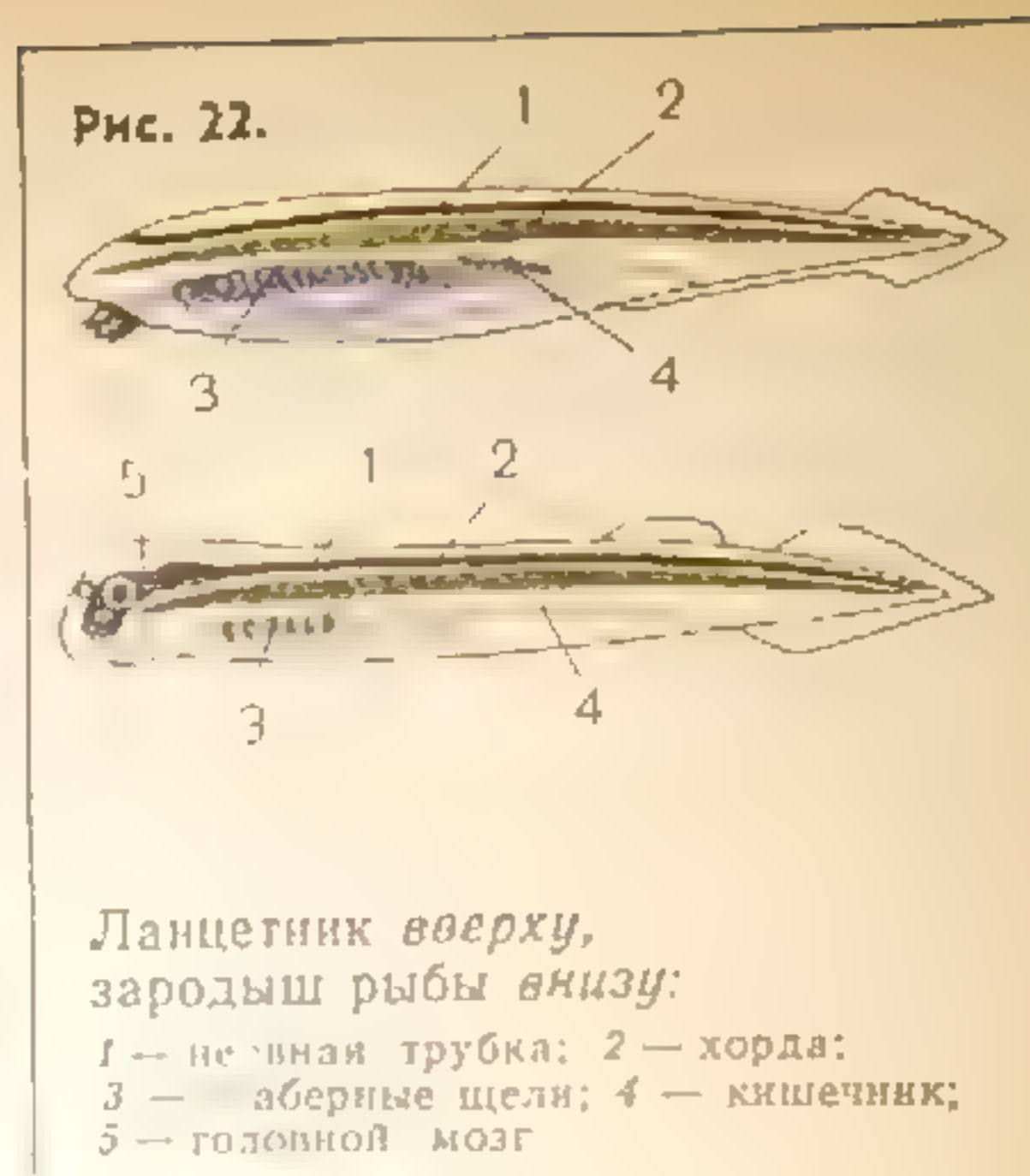
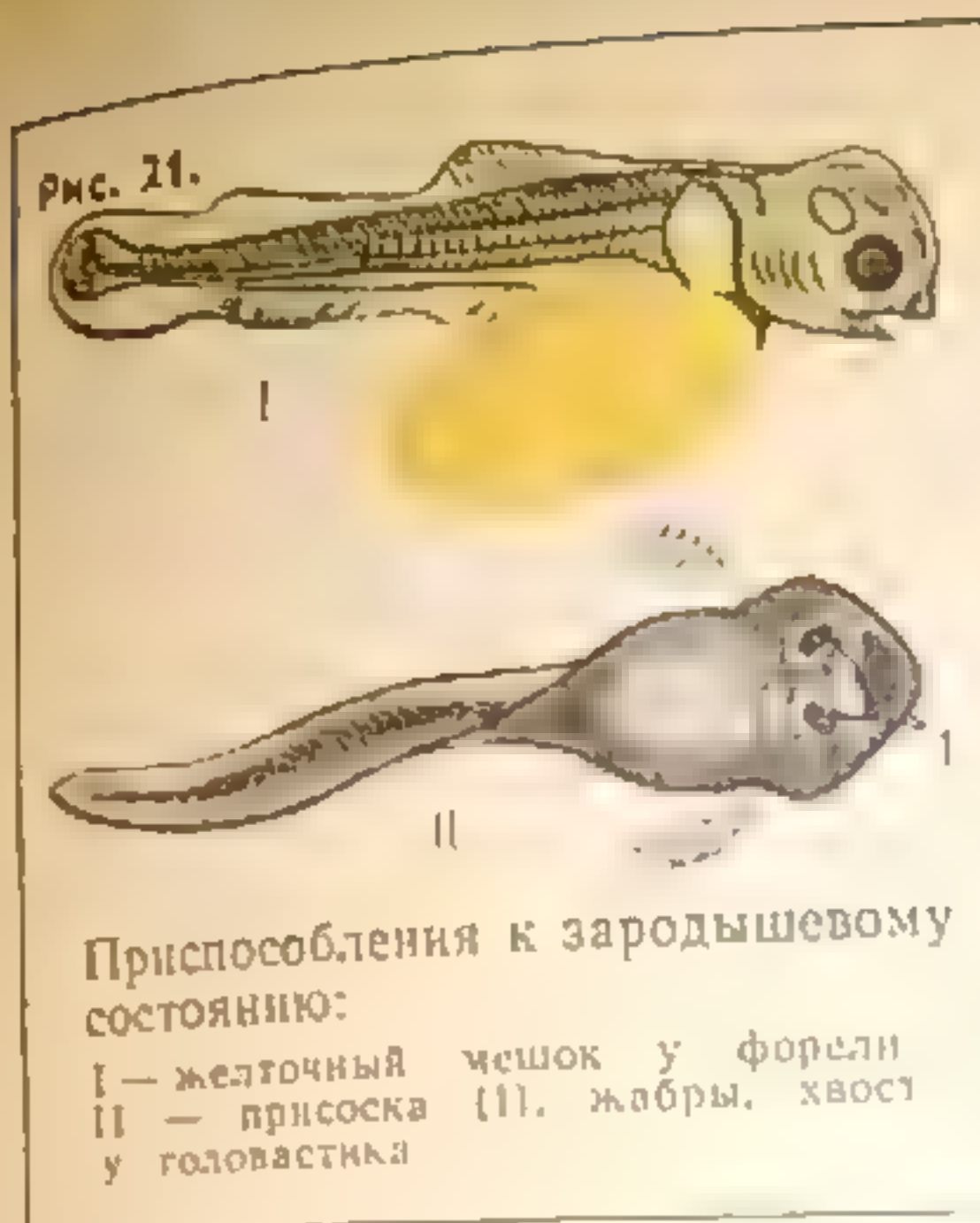
эти при

наличие

ет, что

жизни.

чинки



Биогенетический закон Геккеля — Мюллера, выражая глубокую связь между индивидуальным развитием организмов и их историческим развитием, имеет большое значение для выяснения родственных связей между организмами.

Современные представления о биогенетическом законе. Биогенетический закон подвергся дальнейшей разработке и уточнениям со стороны многих ученых, и современные представления о нем существенно изменились, особенно благодаря трудам А. Н. Северцова.

Исследованиями установлено, что в индивидуальном развитии происходит повторение *состояния* не взрослых предков, а их зародышей. Например, у зародыша млекопитающего, как и у зародыша рыбы, закладываются жаберные щели. Это означает, что в индивидуальном развитии млекопитающего сохранились и повторяются стадии, общие с зародышами рыб, а не взрослого организма. Еще пример: исследованиями русского ученого-дарвиниста А. О. Ковалевского установлено значительное сходство между личинками ланцетника и морского животного асцидии (подтип оболочников, тип хордовых) — они плавают, имеют хорду, нервную трубку и т. п. Ланцетник сохраняет эти признаки во взрослом состоянии, только менее подвижен (рис. 22). Взрослая асцидия, ведущая прикрепленный образ жизни, этих признаков не имеет (рис. 23). Следовательно, ланцетник повторяет в индивидуальном развитии стадии, общие с личинкой асцидии, а не с ее взрослой формой. Э. Геккель был прав, утверждая, что в индивидуальном развитии организмов имеет место повторение признаков древнего характера. Однако на некоторых стадиях индивидуального развития эти признаки могут иметь значение приспособлений. Например, наличие хорды и нервной трубки у личинки асцидии указывает, что далекие предки этого животного вели подвижный образ жизни. Следовательно, в данном случае древние признаки у личинки повторяются. Но хорда служит осевой опорой тела, а



нервная трубка, связанная с органами чувств, обеспечивает ориентировку животного в среде, т. е. эти признаки являются и приспособительными в жизни самой личинки.

Иногда некоторые стадии, пройденные предками, выпадают из индивидуального развития их потомков. Поясним это примером. У змей в процессе естественного отбора в связи с передвижением при отсутствии конечностей во много раз увеличилось число позвонков, ребер и мускульных сегментов по сравнению с ящероподобными предками этих животных. Если бы в индивидуальном развитии полностью повторялось историческое развитие, то у зародышей змей на разных стадиях должно было быть постепенно возрастающее число позвонков, ребер и мускульных элементов. В действительности же они закладываются сразу в количестве, характерном для взрослых змей; таким образом, здесь наблюдается сокращение — выпадение ряда стадий.

В индивидуальном развитии не только выпадают некоторые стадии, но и возникают такие изменения органов, которых не было у зародышей предков. Новые признаки возникают на разных стадиях зародышевого развития. Однако крупные изменения в строении тела, которые остаются у взрослых животных и отличают их от животных других систематических групп, чаще всего появляются на более ранних стадиях. Например, рыбообразная личинка лягушки (отряд бесхвостых амфибий) имеет очень короткое туловище. А личинка тритона (отряд хвостатых амфибий) на той же стадии отличается удлиненной формой, остающейся и во взрослом состоянии. Известно, что оба эти отряда произошли от одних общих предков и уже позднее дивергировали. Следовательно, сокращение числа позвонков, которое привело в процессе эволюции к возникновению бесхвостых амфибий, появилось у их предков на ранней стадии развития, когда позвоночник только еще начинает формироваться. Точно так же объясняется большое различие в длине и чи-

сле закладывающихся позвонков у зародышей змей и ящериц, хотя они произошли от общих предков.

Если новые признаки наследственные и, не нарушая хода зародышевого развития, оказываются полезными организму во взрослом состоянии, то в процессе естественного отбора они сохраняются в потомстве. Так в индивидуальном развитии организмов закладываются новые пути их исторического развития.

1. Какие признаки в индивидуальном развитии организмов различали Мюллер и Геккель? 2. Назовите примеры древних признаков у животных. Почему вы считаете эти признаки древними? 3. Какие поправки и дополнения были сделаны учеными к биогенетическому закону? 4. Как объяснить такие факты: 1) угорь обитает в реках, но для метания икры идет в море; 2) лосось мечет икру в реках, хотя обитает в море? 5. Составьте коллекции, иллюстрирующие биогенетический закон на растениях. (Задание рассчитано на длительное время)

15. Биogeография

Наука, изучающая географическое распространение и распространение организмов на Земле, называется *биогеографией*. Она изучает факты, свидетельствующие в пользу эволюционного учения.

Зоогеографические области. Географические районы земных животных различают по географическим областям суши: 1) Палеарктическую, 2) Неарктическую, 3) Индомалайскую, 4) Эфиопскую, 5) Неоглациальную (рис. 24). Две первые области вместе с Индомалайской называют Голарктической.

В зоогеографических областях представлены все типы и классы животных. Сравнение даже более мелких систематических групп — отрядов, семейств, родов и видов — показывает существенную разницу в фауне различных областей.

Рассмотрим несколько примеров. Две области северного полушария — Палеарктическая (Европа, большая часть Азии, Северная Африка) и Неарктическая (Северная Америка) — географически между собой не соприкасаются, но обнаруживают большое сходство в составе фауны. В той и другой области водятся олени, рыси, волки, лисы, медведи, бобры, выдры, зайцы и т. п., одинаковые или очень близкие виды. Американскому бизону соответствует родственный вид — сарнический зубр; сибирскому оленю маралу — американский олень вапити.

Палеарктическая область, географически составляющая одно целое с Индомалайской и Эфиопской, резко отличается от них фауной. В Палеарктической области нет горилл, шимпанзе, жирафов, лемуров, характерных для Эфиопской. Нет мантышек, слонов, ящеров, носорогов, виды которых представлены в Эфиопской и Индомалайской областях, хотя они разделены морями.



Неоарктическая и Неотропическая области занимают два материка, соединенные Панамским перешейком (посмотрите на карте), однако имеют большие отличия в составе фауны. В Неотропической области обитают броненосцы, ленивцы и муравьеды из отряда неполнозубых, широконосые обезьяны, сумчатые крысы, тапиры и ламы, страусы нанду, колибри и др., которых нет в Неоарктической области.

Наконец, наиболее своеобразный животный мир наблюдается в Австралийской области. Почти все млекопитающие этой области (исключая привезенных) относятся к подклассу сумчатых. Здесь сохранились однопроходные — утконос и ехидна (стр. 21), которых нигде больше встретить. Птицы также поражают своеобразием: эму и казуары, киви-киви, птица-лира и много других, отличающихся ярким оперением и повадками от птиц всех иных областей.

В Новой Зеландии встречается гаттерия, внешне похожая на ящерицу, — представитель давно вымершего отряда первоящеров. У гаттерии на всю жизнь сохраняются остатки хорды.

Флористические области. Между флорами тех областей, фауны которых сходны, наблюдается также сходство. И наоборот, области, отличающиеся друг от друга в значительной степени по составу фауны, отличаются и флорами. Так, Палеарктическая и Неоарктическая флоры сходны между собой: например, европейские и американские виды клена, ясеня, сосны и ели являются близкими, родственными.

Флора Австралийской области, как и ее фауна, оказывается особенно своеобразной. Характерны вечнозеленые жестколистные леса Западной Австралии: эвкалипты, акации с черешками, расширенными наподобие листа; древние голосеменные — саргатовники, похожие на пальмы или древовидные папоротники. В степях и полупустынях — густые заросли кустарников из семейств бобовых, миртовых и др.

Причины
состав фауны
рассматрива
вывался в о
пока не ока
ными пусты
и флоры об
ми преграда
ние произве
фауны и фл
друга обла
ляющий тел
зовался сра
их фауны и
чему сходн

Сходств
объясняетс
пришельца
мя наступ

Резкое
указывает
верной и
пластов зе
тых и неп
положить,

Своеобр
ним обосо
мир Австр
ванно от
дели очен
областях

Фауны
вин наше
птиц, улит
американ
сталилис
ли дизер
образова

Подоб
замануны
жит озер
(стр. 46).

Таким
животных
моционно

1. В
нами
аркти
ственн
4. По

3. Общ

Причины сходства и различия фаун и флор. Современный состав фаун и флор различных областей можно объяснить, если рассматривать его исторически. Каждый вид когда-то образовывался в определенной области и расселялся из этого центра, пока не оказался перед преградами: высокими горами, обширными пустынями, морями, реками и т. п. В дальнейшем фауны и флоры областей и участков суши, разделенных естественными преградами, развивались обособленно. Если такое обособление произошло недавно, то наблюдается большее сходство фаун и флор по сравнению с давно изолированными друг от друга областями. Так, известно, что Берингов пролив, разделяющий теперь материк Евразии и Северной Америки, образовался сравнительно недавно, около 1 млн лет назад, когда их фауны и флоры уже приобрели современный облик. Вот почему сходны Палеарктическая и Неоарктическая фауны.

Сходство между Палеарктической и Африканской фаунами объясняется тем обстоятельством, что эти области заселены пришельцами из одного центра — Центральной Азии — во время наступления ледника с севера.

Резкое различие Неоарктической и Палеарктической фаун указывает на относительно недавнее соединение материков Северной и Южной Америки, что подтверждается изучением пластов земной коры Палеарктического пояса. Наличие сумчатых и неполнозубых в Неоарктической области позволяет предположить, что эти материи были некогда связаны.

Своеобразие Австралийской фауны объясняется очень давним обособлением этого материка, вследствие чего австралийский мир Австралии развивался долгое время совершенно изолированно от фаун других материков. Благодаря этому здесь сохранились очень древние группы животных, вытесненные в других областях более совершенными группами.

Фауны и флоры островов. На Галапагосских островах Дарвин нашел местные, т. е. эндемичные, виды животных, птиц, улиток и насекомых, а также растения, по облику сходные с американскими. Галапагосские острова долго изолированы от Южной Америки. Острова и материк здесь видоизменялись в разных направлениях, что и привело к образованию эндемичных видов и родов.

Подобно островным фаунам, весьма своеобразны фауны замкнутых водных бассейнов. Наиболее ярким примером служит озеро Байкал, где более 24 видов фауны эндемичны (стр. 46).

Таким образом, современное географическое распределение животных и растений можно понять и объяснить только с эволюционной точки зрения.

- ?
1. В чем своеобразие фауны Австралийской области? Какими причинами оно объясняется?
 2. Как объяснить сходство фаун и флор Палеарктической и Неоарктической областей?
 3. Какую роль играют естественные преграды в образовании видов? Покажите это на примерах.
 4. Повторите статью «Образование новых видов».

Палеонтологией называется наука об ископаемых организмах. Подавляющее большинство видов, к которым эти организмы принадлежали, вымерло. Тем не менее накопленный палеонтологический материал позволяет восстановить общий ход эволюции видов растений и животных.

Ископаемые остатки. Только ничтожная часть организмов или их остатков могла сохраниться в земных пластах. Мягкие части тела обыкновенно разлагаются, не оставляя следов. Твердые части, разрушаясь более медленно, могут замещаться кремнеземом из проникающих к ним минеральных растворов. В подобных случаях образуются окаменелости. Иногда в горной породе остается полость, соответствующая форме данного организма; со временем она заполняется илом или песком, затвердевает и получается как бы его окаменевший слепок. В других случаях организмы медленно обугливаются и оставляют словно типографский оттиск на породе. В песке без доступа воздуха и воды трупы животных и людей могут пролежать многие тысячи лет, сохраняя кожу и высохшие мышцы. В земных слоях сохранились и дошли до нашего времени отпечатки частей тела вымерших животных, растений, более или менее полные скелеты, костные и хитиновые, челюсти, зубы, рога, чешуи, раковины, панцири, следы ног, пыльца. Известны целые «кладбища» костных остатков, следы борьбы между животными.

Тонкие прозрачные шлифы, получаемые при микроскопических исследованиях осадочных пород, обнаружили остатки бактерий. Осадочные железные и марганцевые руды, бокситы, фосфориты, глинистые морские и пресноводные отложения включают массу бактерий.

По ископаемым остаткам палеонтологи восстанавливают внешний вид и строение организмов такими, какими они были при жизни.

Эры и периоды. Историю Земли и жизни на ней ученые разбивают на определенные промежутки времени — эры, которые подразделяются на периоды. Смена эр и периодов происходила в результате больших изменений в органическом мире. Продолжительность эр и периодов узнают определением количества продуктов распада радиоактивных элементов, который идет при любых внешних условиях с постоянной скоростью. Например, ученые высчитали, что за каждые 100 млн. лет от кг урана остается 985 г и образуется 13 г свинца и 2 г гелия. Узнав, сколько свинца и гелия содержит взятая проба, подсчитывают, какое время ушло на их образование, т. е. каков геологический возраст горной породы.

В истории Земли различают следующие эры: кайнозойскую — новую, мезозойскую — среднюю, палеозойскую — древнюю, протерозойскую — ранней жизни и архейскую — начало развития Земли. Названия эр происходят от греческих слов.

Наи
в бо
зван
обна
них

па

С

ле.

тии

ласт

горос

самн

лени

ре за

тем

образ

Ее ф

ляющ

насел

Со

ных

нени

пласт

звоно

лей т

ночн

остат

на со

Да

ствен

ми. Е

в дру



Рис.

Наименования периодов даны в большинстве случаев по названию местности, где впервые обнаружили характерные для них ископаемые остатки.

Геохронологическая таблица приведена на стр. 90—91.

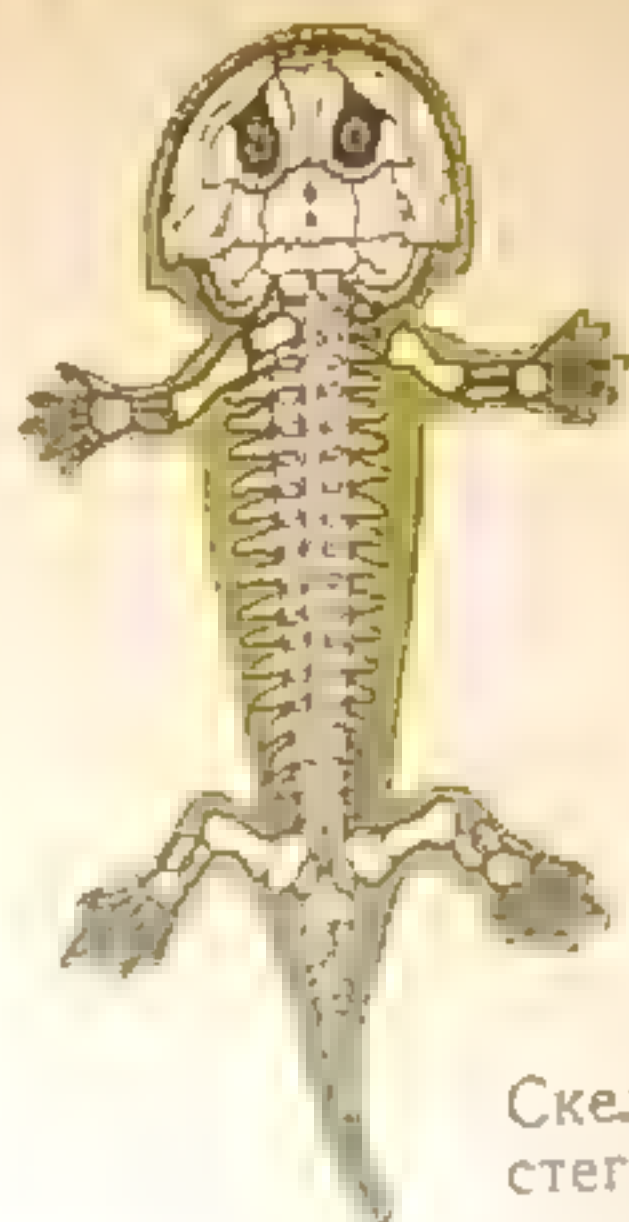
Смена фауны и флоры на Земле. Преемственность в развитии фауны и флоры любой области многократно нарушалась горообразовательными процессами, наступлениями и отступлениями моря. Допустим, море заняло участок суши, а затем отступило, и суша снова образовалась на этом месте.

Ее фауна и флора уже не могут быть представлены видами, являющимися непосредственными потомками тех видов, которые населяли прежнюю сушу.

Сопоставление ископаемых животных и растений разных геологических эпох позволяет установить преемственность органического мира. В самых древних пластах заключены остатки беспозвоночных, а в более поздних — остатки представителей типа хордовых. Позже в пластах Земли встречаются классы позвоночных. В более молодых пластах содержатся остатки животных и растений, относящихся к видам, похожим на современные.

Данные палеонтологии дают большой материал о преемственных связях между различными систематическими группами. В одних случаях удалось установить переходные формы, в других — филогенетические ряды.

Рис. 25.



Скелет стегоцефала.



Рис. 26.

Археоптерикс:

1 — отпечаток, 2 — реконструкция.

Ископаемые переходные формы. Среди ископаемых организмов были открыты, как и у современных, переходные формы (стр. 58).

В древнейших пластах земной коры (палеозойской эры) были найдены остатки вымерших земноводных плоскоголовых — *стегоцефалов* (рис. 25). В строении их скелета наряду с признаками земноводных (строение конечностей и наружный вид) можно отметить признаки рыб — двояковогнутые позвонки, наличие спинной струны, как у современных осетровых. В коже стегоцефалов были сильно развитые окостенения, подобные чешуе рыб. Вместе с тем у поздних стегоцефалов уже наметился шейный отдел позвоночника — признак пресмыкающихся.

Большой интерес с эволюционной точки зрения представляет находка *археоптерикса* в сланцах юрского периода мезозойской эры (рис. 26). Это животное величиной с голубя имело признаки птицы, но сохраняло еще черты пресмыкающихся. Признаки птиц: сходство задних конечностей с цевкой, наличие перьев и общий вид. Признаки пресмыкающихся: длинный ряд хвостовых позвонков, брюшные ребра и наличие зубов. *Археоптерикс* не мог быть хорошим летуном, так как у него слабо развитая грудная кость без кля, гибкий позвоночник и хвостовые позвонки.

В силурийском периоде (см. геохронологическую таблицу, стр. 91) появились и широко распространились в следующем, девонском периоде *псилофиты* (рис. 27). Это были небольшие травянистые и деревянистые растения, произрастающие по берегам морей. У них имелся разветвленный стебель, покрытый щетинками, подземная часть которого напоминала корневище с ризоидами. Корней еще не было. Стебель уже был дифференцирован на ткани: проводящие, покровные и механические; кожица имела устьица, обеспечивавшие газообмен и испарение воды. Псилофиты произошли от зеленых водорослей и являлись переходными формами от низших, бессосудистых споровых к высшим споровым — сосудистым растениям: плауновым, хвощовым и папоротниковым. Вместе с тем псилофиты были переходными от водных к наземным растениям.

Филогенетические ряды. Ряд видов, последовательно и явно переходящих друг в друга и сменяющих один другой, называется *филогенетическим*. Палеонтологам удалось восстановить филогенетические ряды некоторых копытных, хищных, китообразных, моллюсков и др.

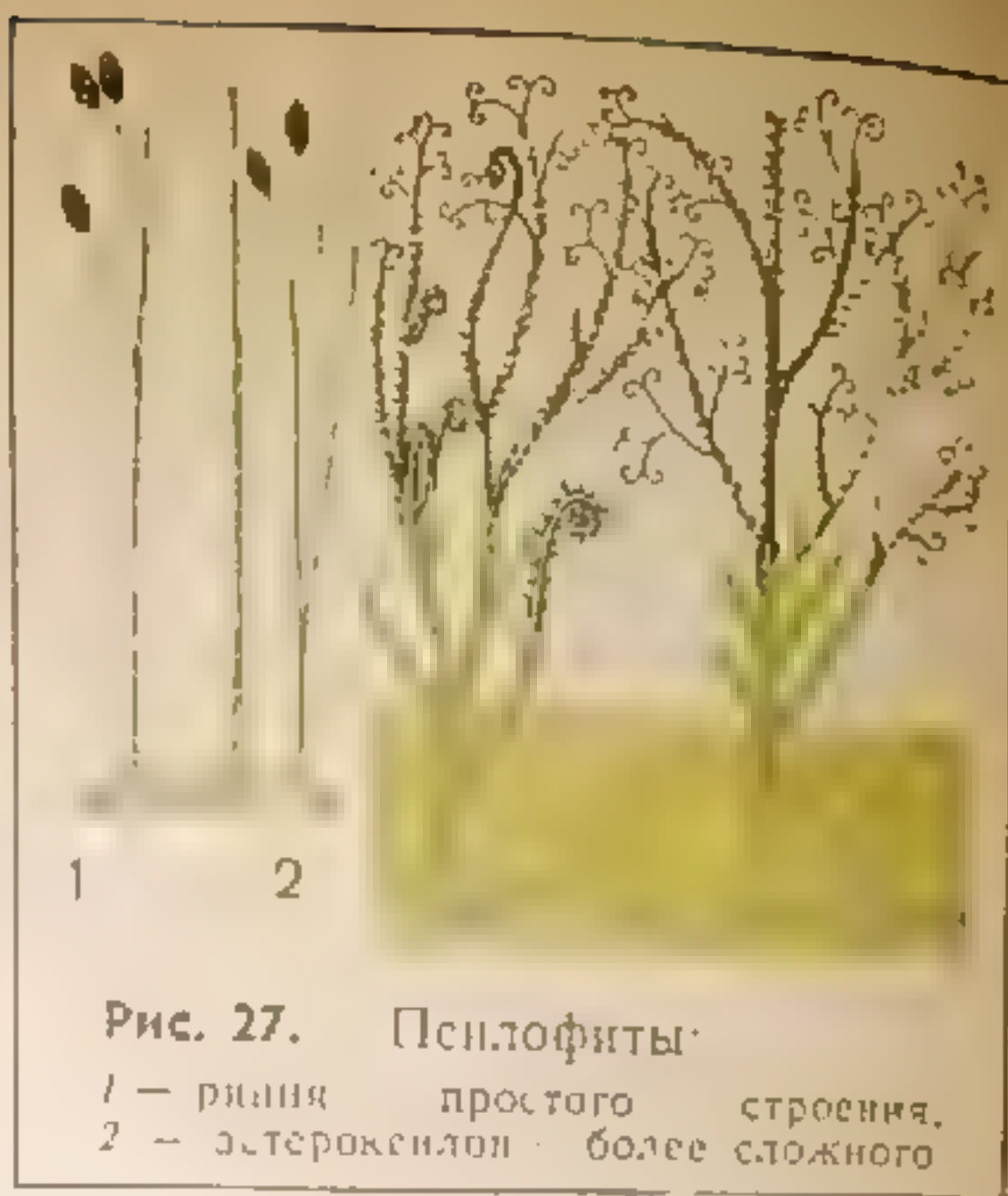


Рис. 27. Псилофиты.

1 — риния простого строения,
2 — эстероксилон более сложного

Рус
логичес
Наибол
был ро
конечно
травояд
климат
скачка
К к
в откр
было н
этих ж
правле
уменьш
нияз поз
заная
перестр
Нес
ниси, н
жизни
лее дре
повыше
прибли

1.
2.
ме
му
ри



Русский ученый В. О. Ковалевский на основании палеонтологических находок восстановил историю лошади (рис. 28). Наиболее древний ее предок (конец палеогена) — *эогиппус* был ростом не больше лисы, с четырехпалыми передними конечностями, трехпалыми задними и бугорчатыми зубами травоядного типа. Жил он в местности с теплым и влажным климатом, среди высоких трав и саранок, передвигался скачками.

К концу неогена растительность стала более сухой и грубой; в открытых степных пространствах спасение от врагов можно было найти в быстром беге, так как других средств защиты у этих животных не было. Естественный отбор проходил в направлении удлинения ног и сокращения поверхности опоры — уменьшения количества пальцев, достигающих почвы, упрочения позвоночника, что способствовало быстрому бегу, и образования складчатых зубов. В результате произошла полная перестройка организма этих животных.

Несмотря на огромную неполноту палеонтологической летописи, на что указывал еще Дарвин, общая картина развития жизни на Земле представляется ясно. По мере перехода от более древних земных слоев к новым наблюдается постепенное повышение организации животных или растений, постепенное приближение фауны и флоры к современным.

1. Какие доказательства в пользу эволюции дает палеонтология?
2. Какие формы называются переходными? Приведите примеры современных и ископаемых переходных форм.
3. Посетите краеведческий музей и ознакомьтесь с палеонтологическими материалами.
4. Повторите § 11.

РАЗВИТИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

Результаты исследований, полученные различными науками, дополняют друг друга и позволяют проследить за главнейшими этапами развития органического мира.

Каким же был органический мир в отдаленные геологические эры и периоды? По каким направлениям происходило его развитие, пока он не приобрел современный облик?

17. Море — первичная среда развития жизни

Ранние этапы развития жизни на Земле. Вместе с другими планетами солнечной системы Земля образовалась, как предполагают, 5—7 млрд. лет назад. Многие сотни миллионов лет условия, необходимые для жизни, отсутствовали. Это была звездная эра в истории Земли. Первая геологическая эра — *архейская*, продолжительностью 900 млн. лет, — почти не оставила следов органической жизни. Это объясняется тем, что осадочные слои архейского возраста были сильно видоизменены под действием высоких температур и давления, а также тем, что твердые части тела у первичных организмов были развиты слабо. Однако наличие пород органического происхождения — известняка, мрамора и углистых веществ — указывает на то, что в архейскую эру уже существовали живые организмы: бактерии, водоросли. Жизнь сосредоточивалась в воде, которую водоросли уже насытили кислородом, что и создавало условия для появления животных. Таким образом, к началу *протерозойской* эры (длившейся 2000 млн. лет) произошли три крупных изменения в развитии живых организмов — возникновение: 1) полового процесса, 2) фотосинтеза и 3) многоклеточности.

Половой процесс возник, как предполагают, в форме слияния двух одинаковых клеток, например двух особей одноклеточных водорослей. Позднее половое размножение, по-видимому, происходило при помощи специальных половых клеток.

При половом процессе мужская и женская половые клетки сливаются, образуя зиготу. Из нее развивается организм, совмещающий наследственность как отца, так и матери, это усиливает наследственную изменчивость в потомстве, а следовательно, расширяет действие естественного отбора. Новый способ размножения, как полезный в сохранении видов, был закреплен естественным отбором, и теперь он преобладает в животном и растительном мире.

Возникновение фотосинтеза положило начало разделению единого ствола жизни на два — растения и животные. На самых ранних этапах эволюции произошла дивергенция организ-

мов по способу питания. Первичные организмы могли существовать за счет разложения органических веществ, находившихся в изобилии в древнейших водных бассейнах. Некоторые первичные организмы получали необходимую для жизни энергию за счет той, которая выделялась при химических реакциях. И в наше время существуют бактерии, которые используют энергию, освобождаемую при окислении, например, азота, серы, железа. Организмы, начавшие синтезировать пигмент хлорофилл, получили возможность использовать запасы углерода в форме углекислого газа и перерабатывать их в органические вещества на солнечном свете. В атмосфере появился свободный кислород.

Изменение воздушной среды и наличие пищи — зеленых растений — создали предпосылки для развития животных.

Родоначальниками простейших растений и животных считается группа древнейших одноклеточных организмов — жгутиковых. Бактерии и сине-зеленые водоросли не дали начала новым типам и остались до нашего времени обособленными группами.

Предками многоклеточных организмов, как предполагают многие ученые, были колоннальные формы одноклеточных жгутиковых. И в настоящее время существуют колоннальные формы жгутиковых. Многоклеточное строение повлекло дальнейшее усложнение в организации живых существ — дифференциацию тканей, органов и их функций.

Остатки животного мира протерозойской эры крайне редки и малочисленны, но по ним можно судить о том, какой бесконечно длинный путь развития был уже пройден органическим миром. Известны остатки всех типов беспозвоночных животных, включая высокоразвитые типы иглокожих и членистоногих. Предполагают, что в конце протерозойской эры появились первичные хордовые — подтип бесчерепных, единственным представителем которых в современной фауне является ланцетник.

Важнейшим этапом было возникновение животных с двусторонней симметрией тела, которая привела к дифференцировке его на передний и задний концы, а также на брюшную и спинную стороны. Передний конец является местом, где развиваются органы чувств, нервные узлы, а в дальнейшем — головной мозг, спинная сторона выполняет защитную функцию; брюшная обеспечивает захват пищи. Подавляющее большинство многоклеточных животных двусторонне симметричны.

Растения и животные в протерозойскую эру еще не заселили сушу, но бактерии и одноклеточные водоросли могли существовать во влажных местах, принимая участие в процессах почвообразования.

Палеозойская эра. Начиная с кембрийского периода эта эра отличается большим разнообразием форм. Кроме бактерий и одноклеточных водорослей, получили распространение крупные многоклеточные водоросли.

В эволюционном отношении многоклеточные водоросли представляли большой шаг вперед, так как обладали более совершенными способами питания и размножения по сравнению с одноклеточными водорослями. Расчленение тела у многоклеточных водорослей путем ветвления и образования различных выростов, напоминавших по виду листья, стебли и корни, увеличивало поверхность соприкосновения с внешней средой, откуда они получали питательные вещества и воду.

О фаунах кембрийского и силурийского периодов свидетельствуют ископаемые остатки, относящиеся ко всем современным типам: простейшим, кишечноротовым, губкам, червям (три типа), иглокожим, моллюскам, членистоногим, хордовым.

В морях силурийского периода процветали плеченогие. Это сидячие небольшие животные (до 10 см в длину) с двусторонней раковинкой, в современной фауне их осталось не более 200 видов. В илистом грунте ползали или плавали у самого дна представители членистоногих — трилобиты, которые долгое время оставались наиболее высокоорганизованными животными. Самые крупные трилобиты достигали 75 см в длину. Обнаружены остатки бесчелюстных позвоночных — щитковых. Это небольшие животные с внутренним хрящевым скелетом и твердым внешним панцирем. Современные миноги и миксины — отдаленные потомки щитковых.

У представителей этих фаун было настолько сложное строение, что возникает предположение о существовании их предков еще в протерозойскую эру, но до нас не сохранившихся. В процессе дальнейшей эволюции происходила главным образом дивергенция типов животного мира и замена первоначальных низкоорганизованных, примитивных форм более высокоорганизованными.

1. По геохронологической таблице (стр. 90) ознакомьтесь с длительностью эр и периодов (не заучивая). Обратите внимание на изменения в растительном и животном мире в архейскую и протерозойскую эры, а также в кембрийский и силурийский периоды палеозойской эры.
2. Какие крупные изменения произошли в развитии органического мира на самых ранних этапах? 3. При каком условии могло начаться развитие животных? 4. Повторите материал о естественном отборе (стр. 33—34) и дивергенции (стр. 43—44).

18. Развитие наземных организмов в палеозойскую эру

Выход растений на сушу. В конце силурийского периода в связи с бурными горообразовательными процессами большая территория суши освободилась из-под воды. Многие виды водорослей, оказавшиеся в условиях суши, погибли. Но какая-то часть зеленых многоклеточных водорослей приобрела изменения, имевшие широкое приспособительное значение в новой среде обитания. Растениями, вступившими на новый путь развития, были псилофиты.

По сравнению с зелеными многоклеточными водорослями псилофиты претерпели крупнейшие изменения. У них возникли ткани, выполняющие различные функции: защитная (эпидермис с устьицами), механическая, поддерживающая тело в пространстве. Ветвление стебля продолжалось под землей, образуя подобие корней.

Возможность заселения суши псилофитами была уже подготовлена жизнедеятельностью бактерий, одноклеточных водорослей, создавших первую почву.

С середины девонского периода происходит постепенное убывание псилофитов и их вытеснение растениями этого периода. Они дали начало тропическим лесам, стоявшим выше по степени организации: плауны, хвощи и папоротникообразные.

Каменноугольные леса В начале каменноугольного периода (360 млн. лет назад, в начале ранней фазы) на Земле существовал теплый влажный климат и в атмосфере господствовал газом. Вследствие сильной вулканической деятельности на Земле появились огромные вулканы, образных — гигантских папоротников. В это время появились папоротниковых — высотой 15—30 м. В это время появились папоротниковидные папоротники.

По сравнению с псилофитами папоротники обладали многими преимуществами: они имели более сложную проводящую систему, а также более развитую систему корней. Папоротникообразные все еще были примитивными растениями, для передвижения половых клеток им все еще требовалась вода.

Пышная растительность сильно изменила состав атмосферы, обогатив ее кислородом, что имело большое значение для развития наземных животных. Растительность каменноугольного периода способствовала образованию плодородных почв, обогащая их перегноем. А это благоприятствовало дальнейшему развитию наземной растительности.

Леса каменноугольного периода образовали месторождения каменного угля, имеющие исключительное значение для нас.

Древнейшие семенные растения. В каменноугольный период в лесах произрастали семенные папоротники — древнейшие голосеменные, у которых вместо спорангиев со спорами развивались семена. Семенные папоротники ясно указывают на происхождение голосеменных растений из споровых.

Возникновение первых семенных растений было огромным прогрессивным фактом, определившим всю дальнейшую эволюцию растений. Особенности размножения семенных растений создавали им преимущественное положение по сравнению с папоротникообразными. У семенных растений оплодотворение происходит без участия воды, зародыш находится в семени и поэтому защищен от неблагоприятных влияний, семя содержит большой запас питательных веществ, необходимых для развития зародыша. Папоротникообразные же нуждаются в наличии

воды для оплодотворения; спора у них представляет собой всего одну клетку с очень ограниченным запасом питательных веществ; для развития заростка необходима влажная почва.

С конца каменноугольного периода в связи с усиленным горообразованием, охватившим в следующем (пермском) периоде весь земной шар, влажный климат почти повсеместно сменился сухим. В новых условиях древовидные папоротникообразные стали быстро вымирать; лишь в сырых и тенистых местах удержались более мелкие формы. Вымерли и семенные папоротники. Но более высокоорганизованные голосеменные растения оказались жизнестойкими, так как размножение семенами позволяло расселяться на более сухих местах. Богатое развитие и широкое распространение голосеменных продолжалось почти до конца мезозойской эры.

Выход позвоночных на сушу. Появление и развитие наземных растений создало важнейшие предпосылки для выхода животных на сушу и дальнейшего развития их в новых условиях: изменение химического состава атмосферы и запасов пищи.

Чтобы понять, как совершился выход животных на сушу, следует остановиться на исключительно важных в эволюционном отношении изменениях, происшедших у рыб в девонском периоде. Первое крупное преобразование связано с появлением челюстных панцирных рыб. Считают, что их предками была одна из групп щигровых. Челюстные панцирные рыбы обладали внутренним хрящевым скелетом и подвижными костными челюстями, парными плавниками и костным панцирем. Возникновение челюстей было важным этапом по пути повышения общей организации позвоночных. Животные, обладавшие костными челюстями, могли активнее охотиться, энергичнее справляться с добычей, в связи с чем в процессе естественного отбора совершенствовались нервная система и органы чувств.

В девонском периоде появилась еще новая группа рыб — кистеперые (рис. 29). Они имели два способа дыхания: жаберное и легочное при помощи одного или двух пузырей, открывающихся на брюшной стороне пищевода.

Плавники кистеперых не были специализированы, как, например, у челюстных панцирных рыб, в выполнении одной функции, т. е. плавания. Плавники кистеперых выполняли несколько функций: они служили не только при плавании, но и порой при ползании. Скелет плавника кистеперой рыбы гомологичен пятипалой конечности позвоночных (рис. 29,3).

Кистеперые обитали в пресных водоемах. В мезозойскую эру они перешли в моря. В 1939 г. в Индийском океане, у берегов Африки, было поймано несколько экземпляров рыбы, названной латимерией. Это дошедшие до нас представители кистеперых рыб, считавшихся полностью вымершими (рис. 29, 2).

Самыми примитивными наземными позвоночными считают древних земноводных. Установлено, что они произошли от одной из групп кистеперых рыб. Процесс возникновения земноводных можно представить себе таким образом. Рыбы, принад-



1



2

рис. 2

Кисте

1 —

совре

древне

кость

лежавш
и облад
ких водо
вотных
ной изм
преврат
сылкам
были стр

Древ
вые) об
яии и л
современ
животные
сравнен
отличал
ров до
мелких

Стег
смыкаю
ный кл
создава
групп э
таниям

В ка
носторо
скорпио

В мо
продолж
вии кор
Дно усе
вилось

Ране
новые

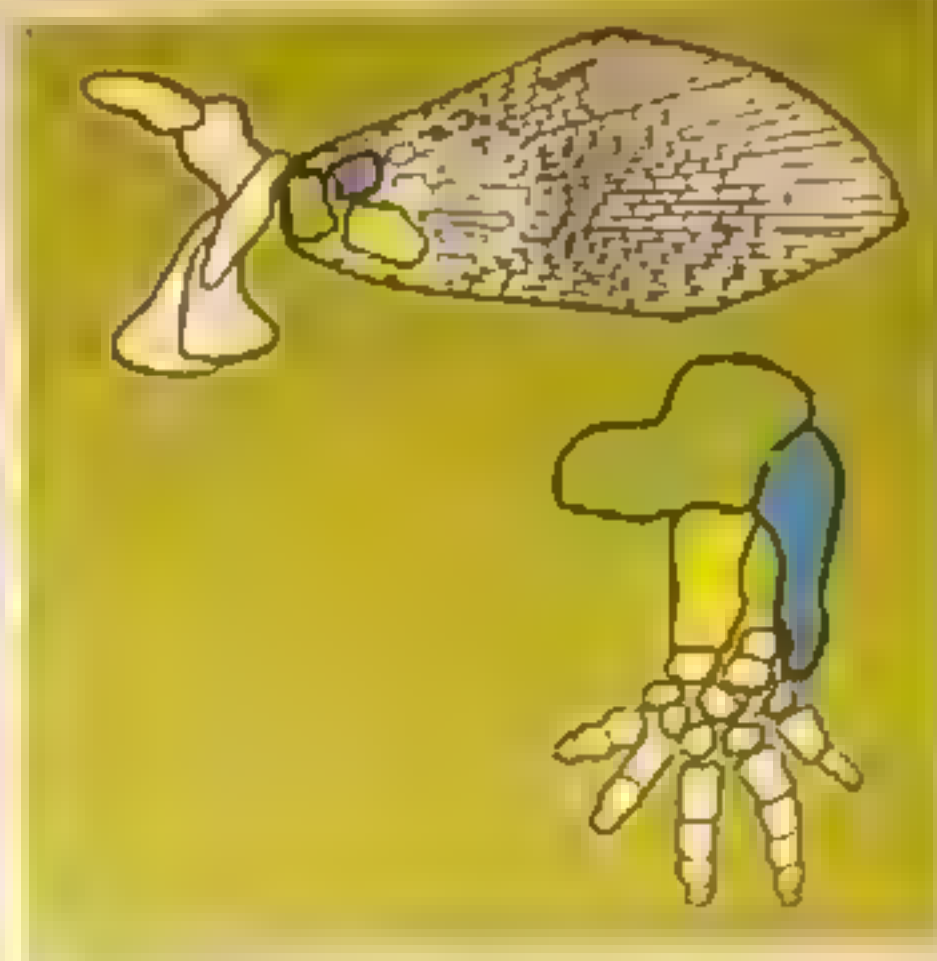
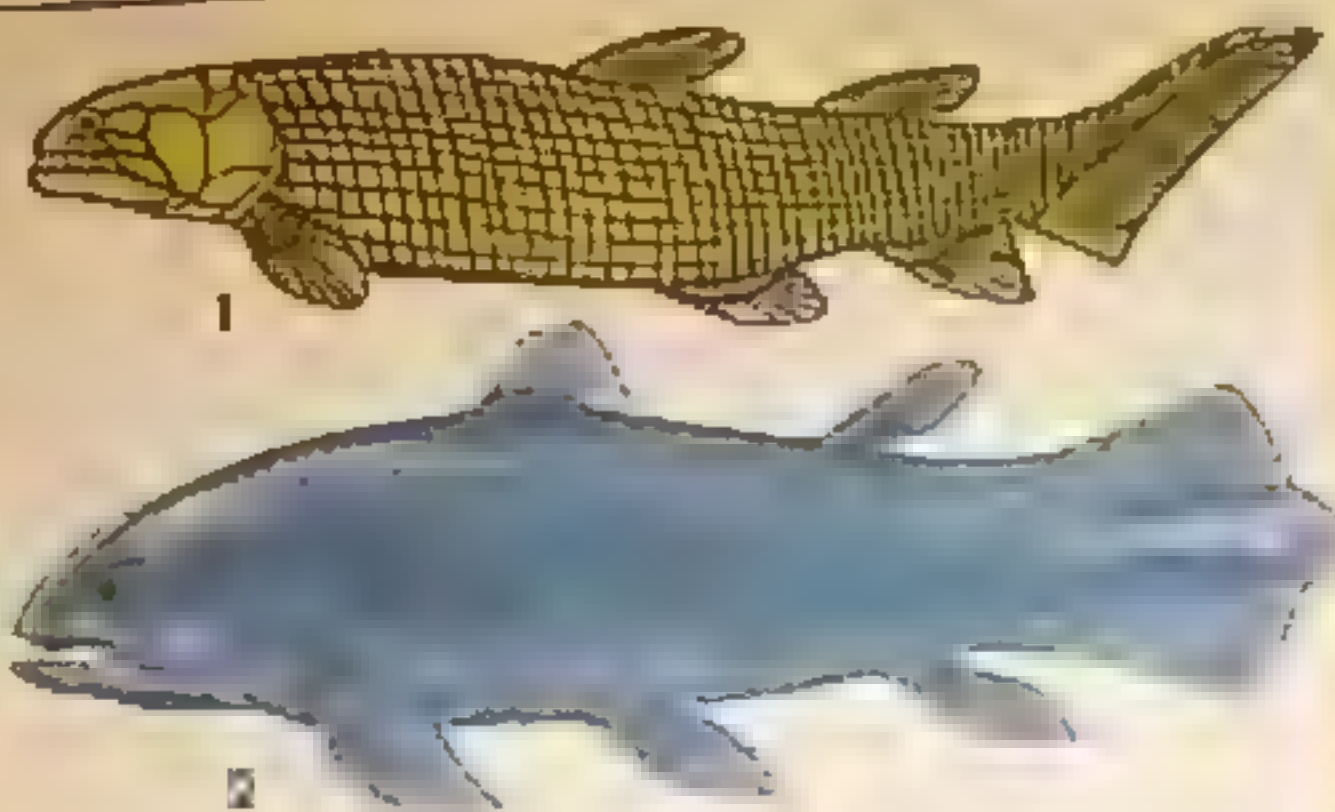


Рис. 29.

Кистеперые рыбы:

1 — ископаемая форма, 2 — латимерия — современная кистеперая рыба; 3 — плавник древней кистеперой рыбы в сравнении с конечностью наземного позвоночного

лежавшие к одной из ветвей кистеперых, были крупнее других и обладали более мощными плавниками. Они жили в неглубоких водоемах, периодически выходя на сушу, что заставляло животных переползать в оставшиеся воды. На основе наследственной изменчивости и в процессе естественного отбора плавники превратились в конечности, пригодные для хождения. Предпосылками для выхода на сушу были, следовательно, предков земноводных были строение конечностей и легочное дыхание.

Древнейшие земноводные — стегоцефалы (плоскоголовые) обитали в болотистых местах. Размножение, развитие яиц и личинок, дышавших жабрами, происходило, как и у всех современных земноводных, в воде. Поэтому первые наземные животные не могли жить в местах, удаленных от водоемов. По сравнению с современными земноводными их далекие предки отличались разнообразием размеров (от нескольких сантиметров до 4 м в длину), наличием костных щитков на голове и мелких щитков на брюхе.

Стегоцефалы соединяли признаки рыб, земноводных и пресмыкающихся. Это переходная форма (стр. 68). Теплый и влажный климат, огромные леса и топи каменноугольного периода создавали исключительно благоприятные условия для расцвета групп земноводных, приспособленных к различным местообитаниям и находящихся на одном уровне общей организации.

В каменноугольный период на суше шло интенсивное и разностороннее развитие беспозвоночных насекомых, пауков, скорпионов.

В морях плавало множество рыб, особенно акул. Кораллы продолжали возводить свои известковые постройки, из раковин корненожек шло интенсивное образование горных пород. Дно усеивали плеченогие, моллюски, иглокожие, заметно убавилось трилобитов.

Ранее существовавшие типы и классы дивергировали на новые группы; вымирали одни ветви, происходил подъем и

расцвет других. Естественный отбор «прилаживал» живые существа к разным местообитаниям, хотя и в пределах одной среды; это ослабляло действие конкуренции и способствовало сохранению видов.

В конце каменноугольного периода, особенно в начале пермского, создались засушливые условия, крайне неблагоприятные для земноводных. Прежде всего их размножение зависело от наличия воды, без которой не мог развиваться зародыш. Легочное дыхание, кровеносная система были несовершенными, а голая кожа не могла защищать тело от высыхания. Значительная часть крупных земноводных вымерла. Те же, которые могли укрыться в оставшихся болотах и толях, дали начало земноводным значительно меньших размеров.

Способной к дальнейшему завоеванию суши оказалась какая-то группа земноводных, которая претерпела очень большие изменения, оказавшиеся полезными в новых условиях. У этих животных изменился способ размножения: возникло внутреннее оплодотворение, яйцо имело большой запас питательных веществ и оболочку, предохраняющую зародыш от высыхания. Развитие зародыша происходило на суше. Эти важные преобразования положили конец зависимости размножения и развития животных от воды.

У взрослых животных развился роговой покров, защищавший их от высыхания. Легкие и кровеносная система также оказались более совершенными у этих животных при переходе их полностью к жизни на суше. Таким образом, возник новый класс позвоночных — пресмыкающиеся.

Появление древнейших пресмыкающихся было новым важным этапом в развитии животного мира: из низкоорганизованных земноводных возникли более высокоорганизованные пресмыкающиеся. И когда в конце палеозойской эры климат на Земле стал жарким и засушливым, пресмыкающиеся оказались вне конкуренции в новой среде обитания. Главным образом это были травоядные животные, но некоторые пресмыкающиеся перешли к хищному образу жизни. Особенно интересна группа зверозубых рептилий, остатки которых были найдены в СССР на берегах Северной Двины. У них есть сходство с млекопитающими в строении черепа, позвоночника и конечностей, а также делении зубов на клыки, резцы и коренные (рис. 30). Предполагают, что от потомков зверозубых рептилий взяли начало первые млекопитающие. Зверозубые ящеры — переходная форма.

Итак, в палеозойскую эру происходило дальнейшее развитие беспозвоночных в воде; возникли бесчелюстные и челюстные панцирные рыбы. Растения и животные вышли на сушу; появились сосудистые споровые и голосеменные растения, кистеперые рыбы, земноводные и пресмыкающиеся. В органическом мире происходили глубокие изменения; в разные геологические эры и периоды существовали различные флоры и фауны, преимущественно сменявшие друг друга.



Как в развитии протерозойского материала эволюции. Рассматривая дальнейшую историю земной и ка...

1. К...
ники
дели
разви
имел
живо
нове
(стр
пер...

19. Гл...

Чарл...
го мира
характер
организа
гентно.
разрабо
верцовой
След
морфоз.
Перв
ский пр
изменен



Зверозубый ящер иностранцевия:
1 — череп; 2 — реконструкция.

Как вы видите, ознакомление с наиболее важными этапами развития органического мира в палеозойской эре — архейскую, протерозойскую и палеозойскую — богатый фактический материал, на основании которого можно судить о направлениях эволюции.

Рассмотрим этот вопрос, перейдя к изучению дальнейших изменений в жизни животных в течение мезозойской и кайнозойской эр.

2. 1. Как и когда совершился выход растений на сушу? 2. Почему возникновение семенных папоротников считают важным событием, определившим дальнейшую эволюцию растений? 3. Какие изменения в развитии рыб произошли в девонском периоде? Какое значение они имели в эволюции позвоночных? 4. Как и когда совершился выход животных на сушу? 5. Какие крупные изменения обусловили возникновение класса пресмыкающихся? 6. По геохронологической таблице (стр. 90—91) проследите изменения растительного мира в различные периоды палеозойской эры.

19. Главные направления органической эволюции

Чарлз Дарвин доказал, что процесс эволюции органического мира совершается непрерывно и имеет приспособительный характер. В целом этот процесс приводит к общему повышению организации живых существ, но вместе с тем он идет дивергентно. Вопрос о направлениях эволюционного процесса был разработан выдающимися отечественными учеными А. Н. Северцовым и И. И. Шмальгаузенем.

Следует отметить три главных направления эволюции: ароморфоз, идиоадаптацию и дегенерацию.

Первое направление — ароморфоз, или морфо-физиологический прогресс. Ароморфозами называют приспособительные изменения, поднимающие организмы на более высокий уровень

организации, имеющие универсальное значение и сохраняющие свою полезность при переходе в новую среду.

На ранних этапах развития органического мира выделяют три крупных ароморфоза — возникновение: 1) полового процесса, 2) фотосинтеза и 3) многоклеточных организмов (стр. 70). Объясните, в чем состоял ароморфозный характер каждого из этих изменений в развитии органического мира.

Важные ароморфозы у растений положили начало новому этапу в развитии всего органического мира — приспособлению к жизни на суше, в новой, во многом более сложной и широкой среде, чем водная. Достаточно вспомнить, какие глубокие изменения в строении и функциях по сравнению с водорослями произошли у псилофитов, чтобы понять значение этих ароморфозов в эволюции. Позднее крупным ароморфозом в развитии растительного мира был переход от размножения спорами к размножению семенами. Каждый из названных ароморфозов вы можете объяснить, найдя нужный материал в § 18.

В животном мире следует отметить крупные ароморфозы у плоских червей, повлиявшие на дальнейшую эволюцию животных, — развитие трехслойности и двусторонней симметрии. Кроме эктодермы и энтодермы возник третий зародышевый слой — мезодерма. В процессе дальнейшей эволюции животных из этого слоя развились кишечник, кровеносная система, мышцы, соединительная ткань, органы размножения, а у позвоночных и скелет.

Двусторонняя симметрия тела привела к разделению тела на передний и задний концы, брюшную и спинную стороны. Разделение функций повысило подвижность, способность захватывать добычу. Считают, что уже у плоских червей наметился выход на сушу — в новую среду. Этот факт подчеркивает значение ароморфозов.

У позвоночных животных палеозойской эры можно проследить ряд ароморфозов. Из них отметим возникновение челюстей у панцирных рыб, легочного способа дыхания и строение плавников у кистеперых рыб. Позднее крупными ароморфозами в развитии позвоночных было появление внутреннего оплодотворения и формирование ряда оболочек яйца, защищающих зародыш от высыхания, усложнение в строении сердца и легких, ороговение кожных покровов. Эти глубокие изменения привели к возникновению класса пресмыкающихся.

Крупные систематические группы — типы, классы и некоторые отряды — произошли путем ароморфозов.

Второе направление — идиоадаптация. Идиоадаптациями называют частные приспособительные изменения, полезные в определенных местных условиях среды, возникшие без повышения общего уровня организации.

Рассмотрим это на примере истории класса земноводных. В засушливые и жаркие периоды палеозойской эры у какой-то части класса в процессе естественного отбора выработались частные приспособления к определенным и ограниченным ме-

рис. 31



Примечание:
1 — детка
2 — туловище

стообитатель
новодных
класса
ны — хор
ких водо

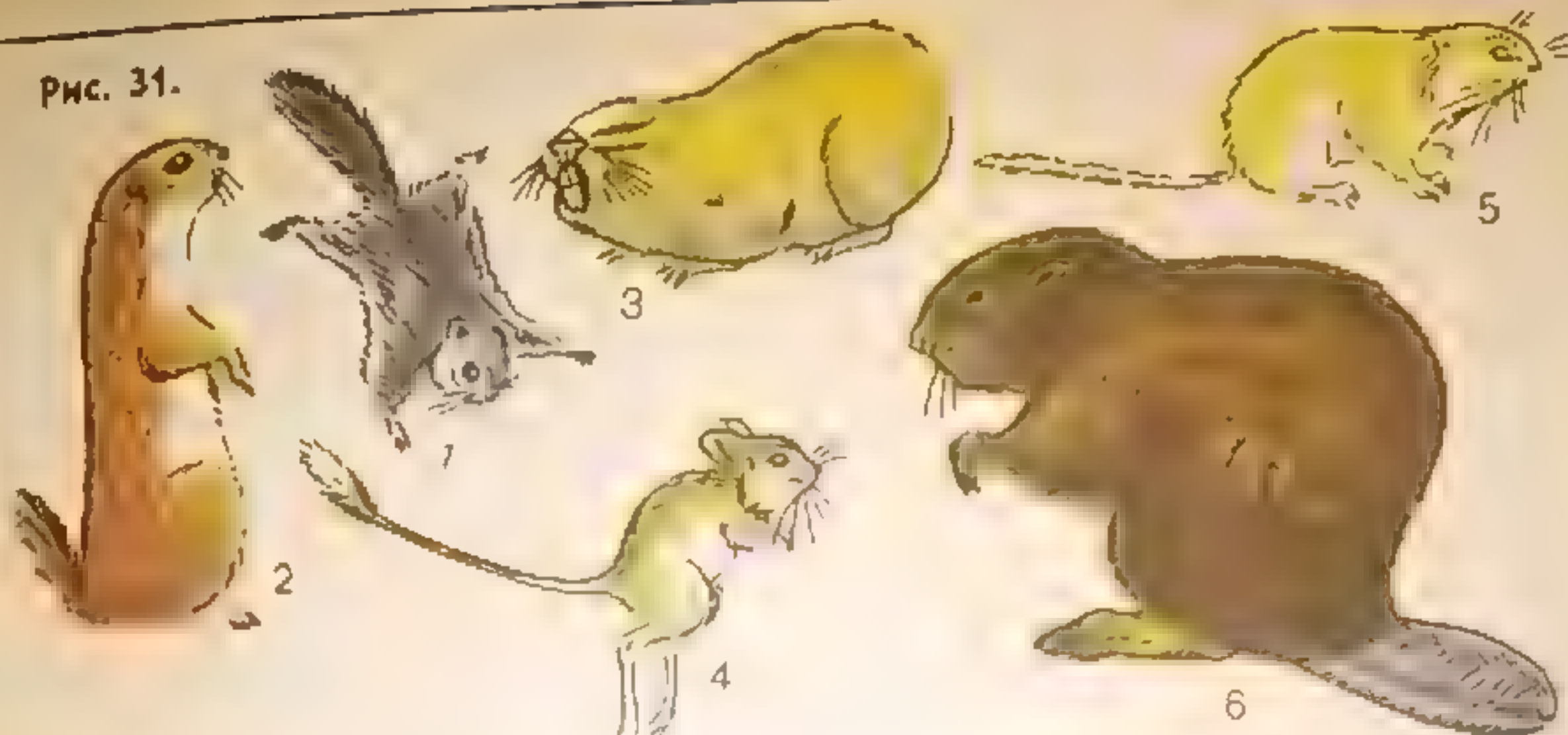
Защита
соплення
не связа

Примечание:
гообраз
ному опи
(некотор
семян к
испарени

Большин
пути раз
организа

Третье
упрощен
таким вз
ся от о
существо
лого ря
отбора,
рация ч
скому об
лучей п
и нервн
перации
щая на
главного
на стебл
щества и

рис. 31.



Примеры идиоадаптации:

1 — детяга; 2 — суслик крапчатый; 3 — слепыш;
4 — тушканчик; 5 — большая песчанка; 6 — бобр

стообитаниям. Никакого повышения уровня организации у земноводных при этом не произошло, и они сохраняли все признаки класса земноводных. Современные земноводные — лягушки, тритоны — хорошо приспособлены к жизни и существованию в мелких водоемах и сильно увлажненных местах суши.

Защитная окраска (стр. 36) дает еще один пример приспособления животных к определенным условиям существования, не связанного с повышением организации.

Примерами идиоадаптаций у растений могут служить многочисленные тонкие частные приспособления: форма и перекрестному опылению ветром, насекомыми, птицами, млекопитающими (некоторыми летучими мышами), прижатия плодов и семян к рассеиванию, приспособления листьев к уменьшению испарения.

Большинство отрядов и более мелких групп возникло на пути развития частных приспособлений без повышения общей организации (рис. 31).

Третье направление — дегенерация. Дегенерацией называют упрощение организации, связанное с переходом организма к таким взаимоотношениям со средой, при которых он избавляется от острого биологического состязания с другими живыми существами. Но этот переход приводит к регрессу и утрате целого ряда органов, вышедших из-под контроля естественного отбора, как не имеющих жизненно важного значения. Дегенерация часто связана с переходом к сидячему или паразитическому образу жизни. У взрослой асцидии (тип хордовых), ведущей прикрепленный образ жизни, отсутствуют кровеносная и нервная системы и хорда (стр. 61). Ярким примером дегенерации могут служить паразитические черви. Паразитирующая на клевере, хмеле и других растениях повилка лишена главного органа — листа, а вместо корней у нее образуются на стебле присоски, которыми она высасывает питательные вещества из растения-хозяина.

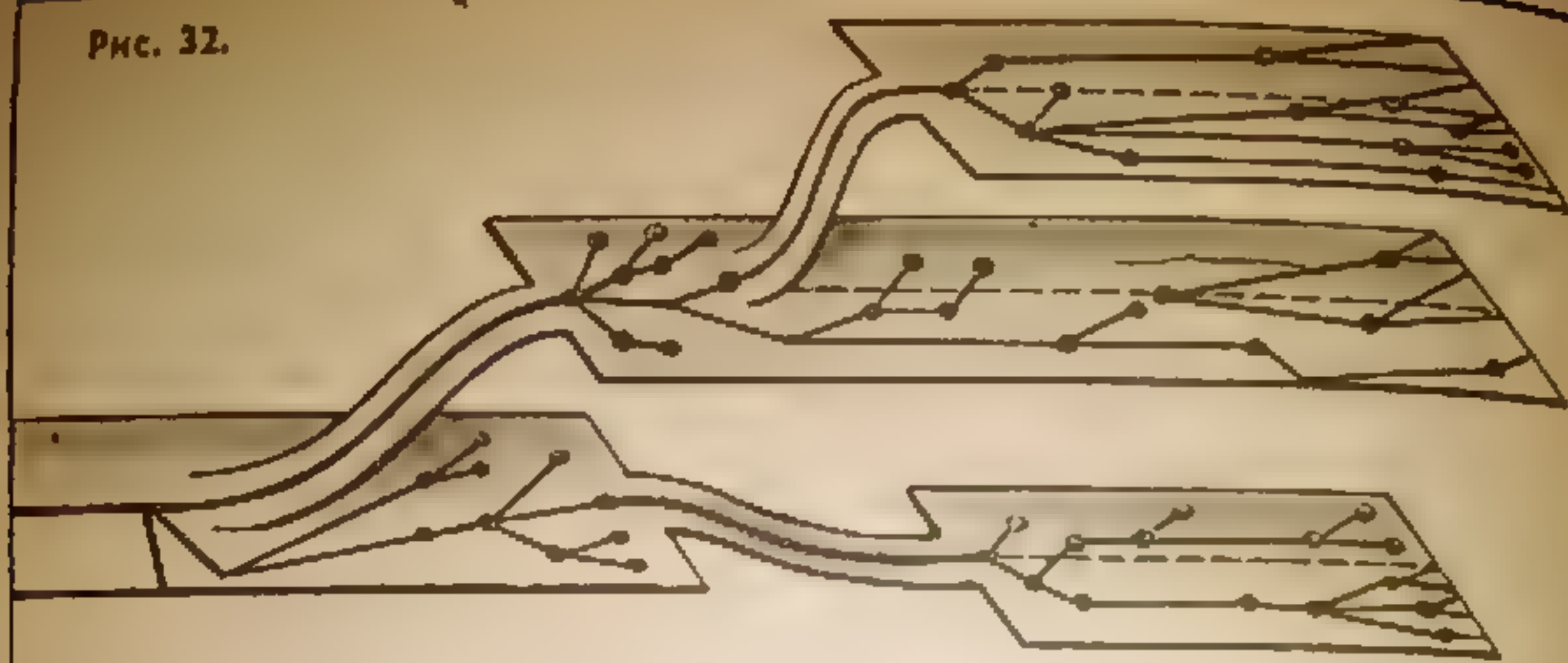


Схема соотношений между ароморфозами, идиоадаптациями и общей дегенерацией.

Соотношения различных направлений эволюции. Ароморфозы наблюдаются в эволюции различных групп животных и растений значительно реже, чем идиоадаптации, но они обозначают новые этапы в развитии органического мира.

Новая высшая группа возникает на пути ароморфозов, при этом большей частью проникает в новую среду обитания. В условиях новой среды эта группа претерпевает изменения: одни из них приводят к новым ароморфозам, другие — к идиоадаптациям.

Предпосылкой к новым ароморфозам служит общая примитивная (неспециализированная) организация тела, связанная обыкновенно со способностью органов к выполнению нескольких функций. Примером общей примитивной организации могут быть среди растений псилофиты, среди животных — стегоцефалы и другие переходные формы от низших к высшим систематическим группам. В качестве примера многофункциональности органов можно привести конечность кистеперой рыбы (стр. 74—75). Многофункциональность органов сохраняется у многих животных и по настоящее время. У большинства наземных млекопитающих конечности выполняют две функции: хождения — главную и плавания — побочную.

Каждый ароморфоз открывает возможности для идиоадаптаций, которые и обеспечивают более полное обживание среды путем захвата в ней различных местообитаний без повышения уровня организации.

В случаях упрощения взаимоотношений организмов со средой происходит общая дегенерация.

Рассмотрите схему (рис. 32), иллюстрирующую соотношение между направлениями эволюции. Горизонтальные плоскости на схеме изображают различные уровни организации. Чем выше уровень организации, тем выше изображена соответствующая ему плоскость. Восходящие ленты обозначают пути ароморфозов; лента к сниженной плоскости выражает путь регресса —

дегенерация
показывает
результаты
Прогресс
природы
линии,
пути
мире
ко по
нообра
оказы
ных о
ди (ст
живот
средне
«Гл
гресс
ибо о
можно
Раз
физио
Аро
и дег
Что
регресс
Би
аромо
рации
жения
числе
расши
пирова
биоло
Та
проце
пуляц
внутри
На
жить
распр
Казан
живот
на во
Азии,
шой д
приме
настоя
доемы
и чело
время

дегенерации. Линии, соединяющие точки на каждой плоскости, показывают дивергентный ход эволюционного процесса, в результате чего возникают идиоадаптации.

✓ Прогресс и регресс в органическом мире. Развитие живой природы, начиная с первичных организмов, шло по восходящей линии, от низшего к высшему, от простого к сложному, т. е. по пути прогресса. Однако понятие о прогрессе в органическом мире не означает, что историческое развитие происходило только по восходящей линии. Оно осуществлялось сложными и разнообразными путями. Прогресс в общей организации всегда оказывался связанным с регрессом отдельных органов или частей тела. Иллюстрацией этого является ряд лошади (стр. 69), свидетельствующий о постепенном развитии этого животного, однако связанном с рудиментацией пальцев, кроме среднего, ключиц и специализации зубов.

«Главное тут то, — что прогресс и регресс в органическом мире не являются чем-то противоположным, ибо он закрепляет достигнутые результаты и создает возможность развития в дальнейшем».

Различают два типа прогресса в органическом мире: морфологический и биологический.

Ароморфоз — это прогресс в морфологическом смысле, а дегенерация — регресс в морфологическом смысле.

Что же такое биологический прогресс и биологический регресс?

Биологический прогресс и биологический регресс. Развитие ароморфозов, идиоадаптаций и дегенераций создает возможности повышения смертности в популяциях. Это приводит к увеличению численности особей в популяциях, возрастает ареал обитания, расширяется, темпы образования новых внутривидовых группировок, а в конечном счете и новых видов ускоряются. Это биологический прогресс.

Таким образом, под биологическим прогрессом понимают процесс, который ведет к увеличению численности особей в популяциях, расширению ареала, а также к повышению темпов внутривидовой дифференцировки и образованию новых видов.

Наглядным примером биологического прогресса может служить распространение зайца-русака. Сто лет назад граница его распространения на севере доходила до линии Ленинград — Казань, а к востоку — до реки Урал. В настоящее время это животное на севере распространено в Средней Карелии и далее, на востоке — до Омска, на юге — до Северной Африки, Малой Азии, Крыма, Закавказья и Ирана. Заяц-русак подвергся большой дифференцировке: известно около 20 подвидов его. Еще пример дают нематоды (круглые черви), которые заселяют в настоящее время всю почву Земли, моря и океаны, пресные водоемы, многие из этих червей — паразиты растений, животных и человека. И заяц-русак и нематоды испытывают в настоящее время процессы типичного биологического прогресса.

Биологический прогресс может быть достигнут при общей дегенерации. Так, например, происходит у животных, ведущих сидячий или паразитический образ жизни, а также у растений-паразитов. У свиного солитера нет кишечника, слабо развита нервная система, способность к самостоятельному передвижению почти отсутствует. Но наряду с упрощением организации это животное обладает присосками и крючками, при помощи которых и держится на стенках кишечника своего хозяина, а также сильно развитыми органами размножения и огромной плодовитостью.

Подавляющее большинство современных видов животных и растений охвачено процессами биологического прогресса. В сельском хозяйстве и в медицине очень важно учитывать процессы биологического прогресса тех или иных видов растений и животных.

В природе наблюдается также процесс, противоположный биологическому прогрессу, — биологический регресс.

Под биологическим регрессом понимают процесс, который ведет к падению численности особей в популяциях и числа самих популяций, сокращению ареала, снижению темпов внутривидовой дифференцировки и уменьшению числа видов.

Биологический регресс может наступить в результате изменения отношений организмов с внешней средой в неблагоприятную для них сторону. Причинами этих изменений могут быть изменения климата, горообразование, наступления и отступления моря и др., а наряду с ними — изменения в отношениях между видами, родами и т. п. В геологическом прошлом многие группы подверглись биологическому регрессу в такой мере, что он привел их к вымиранию. Вымерли трилобиты, гигантские ракоскорпионы. Из многочисленных ветвей древнейших земноводных эволюционировали только ветви, которые повели к образованию современных классов земноводных и пресмыкающихся. Среди растений давно исчезли псилофиты, древние папоротникообразные, семенные папоротники.

В современную геологическую эпоху испытывают биологический регресс, например, плеченогие, пышный расцвет которых относится к девонскому и каменноугольному периодам, в растительном мире — хвощовые и плауновые, наибольшее развитие которых наблюдалось в каменноугольном периоде. Происходит биологический регресс черного таракана, черной крысы, многих видов, обитающих на мелких океанических островах.

С появлением человека причины биологического регресса часто связаны с теми изменениями, которые он вносит в ландшафты Земли, нарушая связи живых существ со средой, сложившиеся в процессе длительной эволюции, например сокращение ареала европейского бобра, выхухолы, европейского зубра и многих других видов животных. Биологический регресс всегда грозит вымиранием. Вот почему мероприятиями по охране природы важно не только сдерживать биологический регресс, но и ликвидировать и предупреждать его.

Ознакомившись с направлениями эволюции органического мира, продолжим рассмотрение дальнейших этапов ее в мезозойскую и кайнозойскую эры, причем вы снова встретитесь с примерами ароморфоза, идиоадаптации и дегенерации.

- ? 1. Назовите главные направления эволюции и дайте определение каждого из них. Поясните примерами. 2. Приведите примеры ароморфозов у беспозвоночных и позвоночных животных. 3. Почему особенности строения псилофитов считают ароморфозными? 4. Почему переход растений от размножения спорами к размножению семенами является крупным ароморфозом? 5. Какие особенности организмов служат предпосылками для возникновения и развития ароморфозов? 6. Разберитесь в схеме (рис. 32) и, пользуясь ею, объясните соотношение между направлениями эволюции. 7. Что такое морфо-физиологический прогресс и морфо-физиологический регресс? Приведите примеры. 8. Какими путями достигается биологический прогресс? Какие процессы характеризуют биологический прогресс и биологический регресс?

20. Дальнейшее приспособление органического мира к наземной жизни в мезозойскую эру

Завоевание суши голосеменными растениями. В триасовом периоде на значительной части земного шара был резко континентальный климат. В полярных широтах усилилось развитие голосеменных, получивших бесспорное преимущество перед сосудистыми споровыми растениями (стр. 74).

Голосеменные перешли к наземной способу оплодотворения. Половые клетки у них стали развиваться во внутренних тканях. Мужская половая клетка двигалась к женской по пыльцевой трубке без участия воды. Это был ароморфоз исключительно крупного значения, во многом обеспечивший дальнейшее завоевание суши растениями. Притом голосеменные расселились чрезвычайно быстро благодаря переносу семян ветром и водой. Для мезозойской эры характерно необыкновенно богатое развитие голосеменных растений, продолжавшееся в юрском периоде и до середины мелового.

Победа покрытосеменных. Однако в течение нескольких сотен тысяч лет голосеменные были вытеснены недавно возникшей группой покрытосеменных растений. Пока не установлены окончательные причины этой резкой смены. Возможно, они были связаны с горообразованием конца мезозойской эры — начала кайнозойской и с изменением распределения суши и моря, а также климата.

Предками покрытосеменных были древние голосеменные. К концу мезозойской эры уже существовали однодольные и двудольные растения. Наиболее древние формы покрытосеменных неизвестны. Существует предположение, что они возникли в тропическом поясе на материке, который позднее стал дном океана. Семейства лютиковых и магнолиевых — наиболее древние, судя по примитивному строению цветка и древесины.

Из цветках лютиковых и магнолиевых большое количество плодников и тычинок, расположенных по спирали, неопределенное число частей цветка. В древесине сосудисто-волокнистые пучки расположены кольцами. Эти признаки считают древними.

У покрытосеменных произошел крупный ароморфоз — развитие цветка, ставшего широким, универсального значения приспособлением к опылению.

В дальнейшем в цветке выработались многочисленные частные приспособления к опылению различными способами и средствами — идиоадаптации. Из других идиоадаптаций покрытосеменных можно указать приспособления к распространению плодов и семян, а также к уменьшению испарения воды листьями.

Покрытосеменные приобрели ряд важных приспособлений по сравнению с голосеменными. Семяпочки покрытосеменных скрыты в завязи, семена развиваются внутри плода, лучше защищены и обеспечены питательным материалом; у них яркие душистые цветки, привлекающие насекомых, и огромная поглощающая поверхность листьев и корней.

Покрытосеменные растения быстро завладели всей поверхностью Земли, освоили водную среду, дали бесчисленные разнообразные формы: деревья, кустарники, многолетние и однолетние травы. Большую роль в быстром распространении покрытосеменных сыграла их выносливость в различных климатических и почвенных условиях. Развитие листьев, стеблей, характер ветвления обеспечили наилучшее поглощение и использование солнечных лучей.

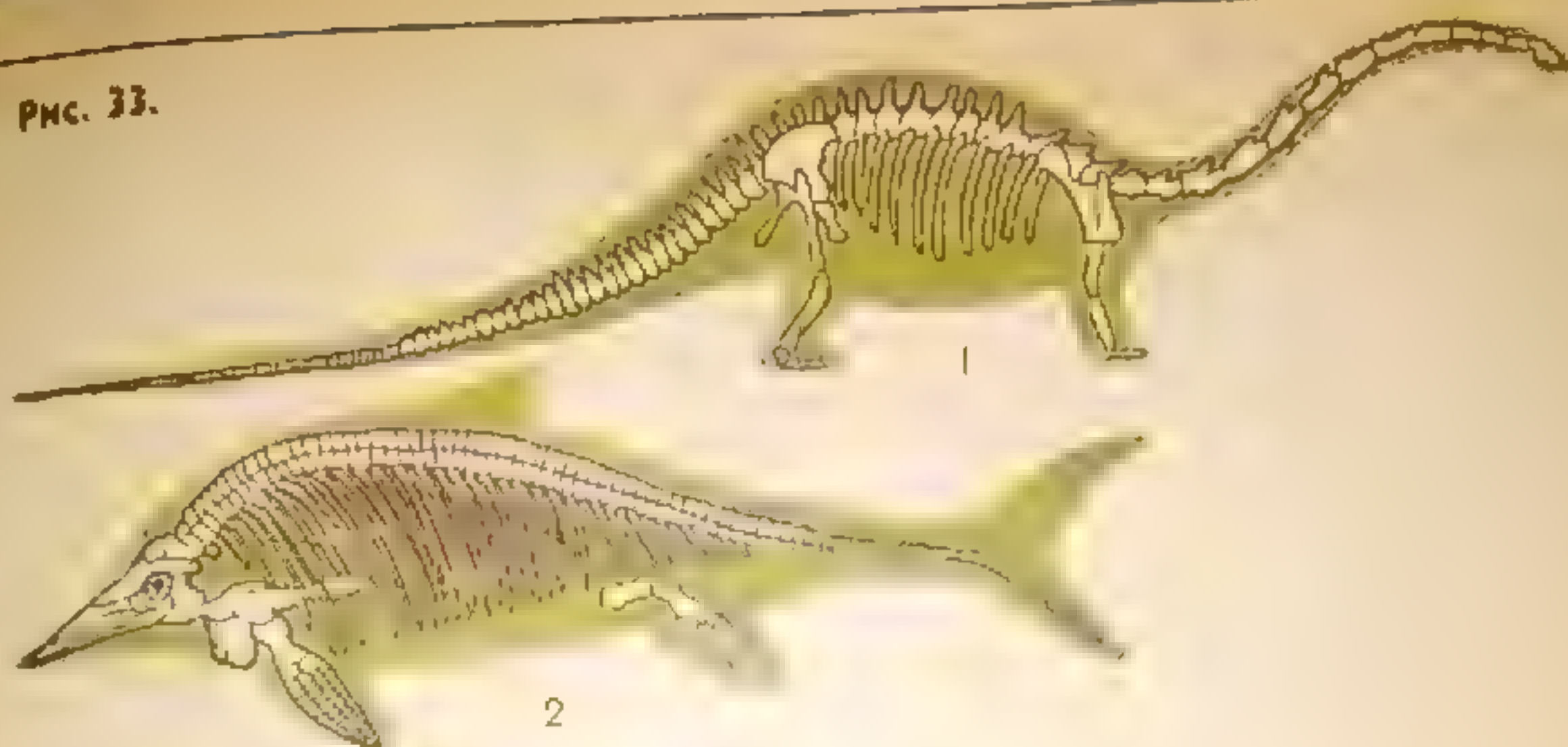
Пышное развитие покрытосеменных было связано с одновременным развитием высших форм насекомых-опылителей: бабочек, шмелей, пчел, мух и др.

Хвойные и споровые растения не исчезли с распространением покрытосеменных, а продолжали дивергентно развиваться, образуя новые виды. Среди хвойных было много сосен, тиса, секвой, появилась ель; из споровых — мелкие хвощи, плауны, папоротники.

Гигантские пресмыкающиеся. Самая характерная черта развития животного мира в мезозойскую эру — поразительный расцвет и последующее очень быстрое вымирание гигантских пресмыкающихся. В юрском периоде они достигли большого видового разнообразия без повышения уровня организации (идеоадаптации).

Из наземных пресмыкающихся мезозойской эры наиболее замечательны давно вымершие гигантские ящеры-динозавры («ужасные ящеры»), плотоядные и растительноядные. На рисунке 33 изображен скелет одного из них — диплодока.

В мезозойских морях жили в большом количестве хищные рыбаеящеры — живородящие ихтиозавры (рис. 33) и крокодилы. В воздухе парили летающие ящеры, одни величиной с воробья, другие с размахом крыльев — видоизмененных передних конечностей — в 7—8 м. Предполагают, что гигантские травоядные



1 — диплодок — скелет; 2 — ихтиозавр — скелет самки со скелетом детеныша внутри брюшной полости.

пресмыкающиеся питались преимущественно голосеменными растениями.

Подобно голосеменным растениям, гигантские пресмыкающиеся очень быстро вымерли в конце мелового периода мезозойской эры. Причины их вымирания окончательно не установлены. В числе предположений — резкое похолодание климата, отступление моря в результате поднятия суши, вызвавшее гибель растительности при резких изменениях, которой питались растительноядные пресмыкающиеся и др. С эволюционной точки зрения гигантские пресмыкающиеся представляли собой слепые ветви, не оставившие потомства. В результате своей узкой специализации они не выдержали конкуренции с менее специализированными, но способными к дальнейшим ароморфозам пресмыкающимися — предками млекопитающих и птиц.

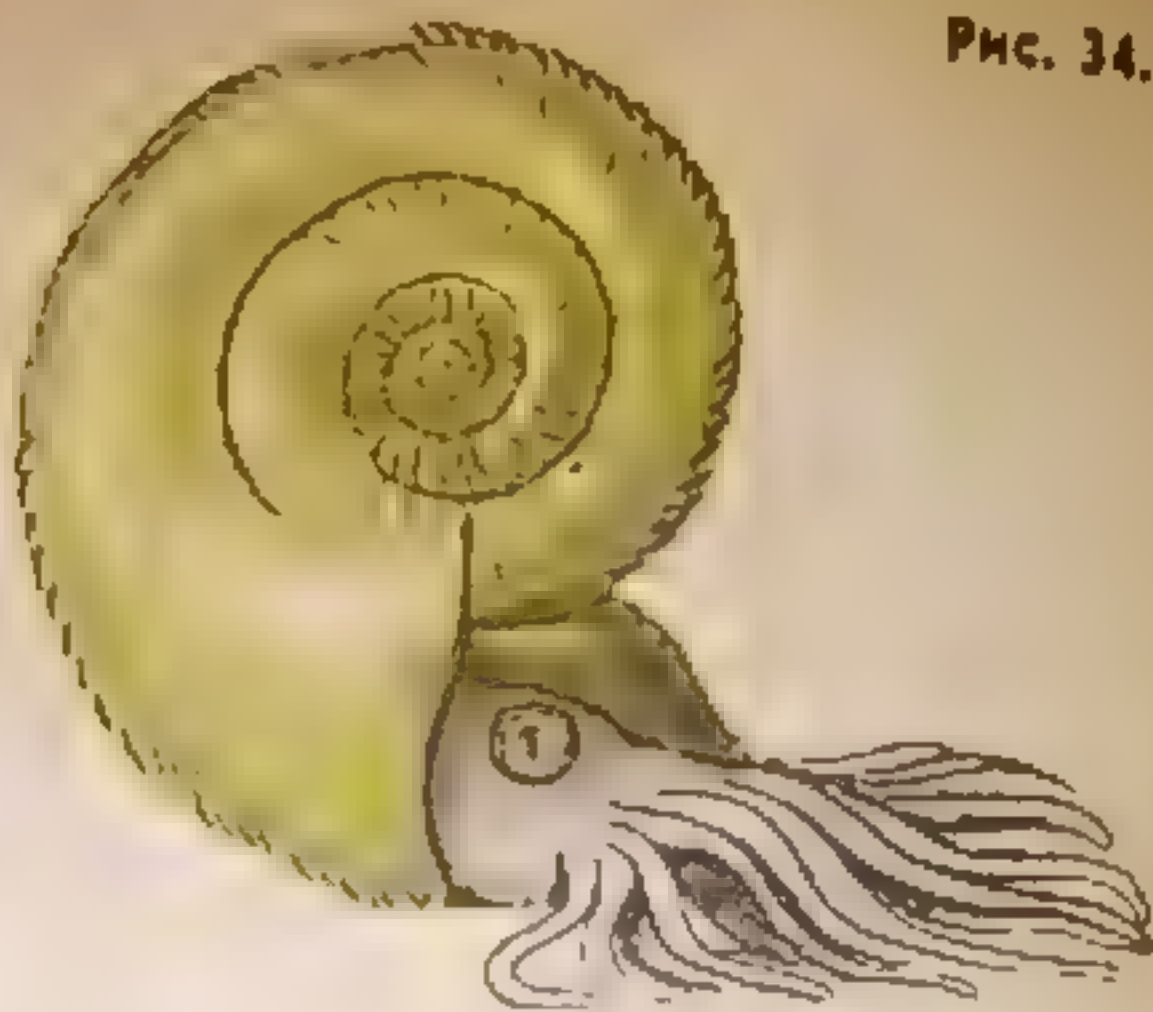
Первые млекопитающие Среди древних пресмыкающихся триасового периода встречались мелкие формы, у которых возникли и развились особенности строения, исключительно важные для дальнейшего прогресса. Такими особенностями оказались живорождение, кормление детенышей молоком, постоянная температура тела, дифференциация зубов, образование рыла путем сужения передней части черепа. Все эти приспособительные изменения имели значение ароморфозов в происхождении класса млекопитающих.

Первые млекопитающие, мелкие, примитивные, напоминали современных сумчатых крыс, землеросек и ежей. Их предками были зверозубые ящеры (стр. 76).

Млекопитающие имели четырехкамерное сердце и постоянную температуру тела, тогда как у других животных она была переменной. Эти особенности способствовали усилению обмена веществ и энергии, создав возможность вести деятельную жизнь в то время, когда пресмыкающиеся погружались в спячку. Зародыши у млекопитающих развивались внутри тела матери, после рождения вскармливались ее молоком и по сравне-



Аммонит;



реконструкция.

нию с потомством других животных истреблялись в меньшей степени. Вместе с постоянной температурой тела защитой от холода им служил волосной покров. У современных однопроходных — утконоса и ехидны — сохранились некоторые черты, приближающие их к пресмыкающимся.

Первые птицы. В юрском периоде мезозойской эры возникли зубастые птицы. Вспомните признаки пресмыкающегося и птицы у одной из зубастых птиц — археоптерикса (стр. 68).

Считают, что предком зубастых птиц была вымершая группа ящеров конца палеозойской и начала мезозойской эры, передвигавшаяся на задних конечностях и покрытая чешуей. Предполагают, что эта группа ящеров дала начало группе лазающих ящеров, у которых чешуя видоизменилась в перья. Развитие перьевого покрова и приспособлений к полету вместе с повышением организации нервной и кровеносной систем было тем крупным ароморфозным изменением, которое привело к возникновению птиц.

В конце мезозойской эры появились первые настоящие птицы. Постоянная температура тела, четырехкамерное сердце обеспечивали усиленное развитие обмена веществ и энергии; забота о потомстве облегчала выживание; уменьшилась зависимость птиц, как и млекопитающих, от температуры окружающей среды по сравнению с другими животными.

Птицы вытеснили летающих ящеров благодаря важным преимуществам: их крылья приводились в движение сильными мышцами, кости были легкими, наполненными воздухом.

Кормовая база для животных, в особенности птиц и млекопитающих, уже создавалась благодаря покрытосеменным.

В мезозойскую эру в морях водились различные виды моллюсков, иглокожих, хотя многие из них вымерли к концу мезозойской эры. Поразительного развития достигли корненожки, известковые раковины которых образовали громадные залежи мела. Древние хрящевые рыбы были вытеснены возникшими

еще в триасе настоящими костистыми рыбами, которые быстрее плавали и активнее захватывали добычу при помощи челюстей.

В результате дивергенции непрерывно возрастало видовое разнообразие в пределах каждой крупной систематической группы. Например, число родов головоногих моллюсков — аммонитов (рис. 34) — к концу мезозойской эры достигло 900, тогда как к началу ее их было около 400.

Некоторые виды вымирали, сменяясь новыми. *И всегда менее специализированные группы в силу большей пластичности своей организации оказывались способными к дальнейшим ароморфозам.*

- ? 1. Чем различаются способы оплодотворения у голосеменных, мхов и папоротников? Почему способ оплодотворения голосеменных явился крупным ароморфозом? 2. Какие ароморфозы обусловили возникновение покрытосеменных? 3. Какие идиоадаптации следует отметить в процессе возникновения различных видов покрытосеменных? 4. Как возникли первые млекопитающие? Птицы? Кто были предками млекопитающих? Птиц? 5. По геохронологической таблице проследите изменения в органическом мире по периодам мезозойской эры.

21. Органический мир в палеогеновую эру

Господство покрытосеменных. Кайнозойская эра длится около 60—70 млн. лет. Первый период ее — *палеоген*, второй — *неоген* и третий — *антропоген*, который длится по настоящее время. В течение этой эры сформировались континенты и глубокие моря в их современном виде.

В палеогене покрытосеменные заселили материк, горы, пустыни и пресноводные водоемы. Теплый климат благоприятствовал пышному развитию тропической растительности. Даже далеко на севере произрастали вечнозеленые леса. На острове Шпицберген нашли остатки бука, липы и болотного кипариса, в Гренландии — остатки секвой. Широко была распространена субтропическая флора.

Во второй половине палеогена начались бурные горообразовательные процессы. На месте теплых морей поднялись горные хребты Кавказа, Крыма, Альп, Карпат, Пиренеев, Апеннин и Гималаев. Высокие горные цепи отгородили нашу страну от тропиков и субтропиков. С наступившим похолоданием, когда зимой стали замерзать реки, в преимущественном положении оказались растения с опадающими листьями: клен, липа, ольха, тополь, дуб и т. д. Вечнозеленые леса в значительной мере сменились листопадными. На огромных пространствах современной Сибири, Монголии и Северной Америки раскинулись травянистые степи, сменившие леса.

Происходила быстрая идиоадаптация форм в различных местных условиях.

В конце неогена и начале антропогена ледники, сползавшие со Скандинавских гор, сметали на своем пути все живое. У под-

ножия ледников могли выжить лишь карликовые растения, давшие начало арктической флоре.

Только в укромных уголках горных массивов СССР — на Черноморском побережье Кавказа, на Южном берегу Крыма, в Талыше, на берегах Каспийского моря и в Уссурийском крае — сохранились как бы заповедники тропической и субтропической растительности. У подножия гор, куда не добрался ледник, выжили наиболее выносливые к холоду хвойные и листопадные породы. Они и составили в основном флору нашей страны, когда стоял ледник.

В антропогене происходит окончательное формирование современного растительного мира.

Развитие беспозвоночных. Широко распространились брюхоногие и двусторчатые моллюски, они процветают и в настоящее время. Раковина у них оказалась защитой против высших организмов. Большого развития достигли членистоногие животные, особенно насекомые. Многообразие их видов (от 800 тыс. до 1 млн.) свидетельствует о широком расселении на Земле в различных средах и господствующем их положении среди беспозвоночных.

В развитии класса насекомых происходил ряд крупных ароморфозов. Особенно важную роль сыграло развитие трахейной системы, а также ротового аппарата жующего типа. Трахейная система резко повысила активность окислительных процессов в теле насекомого и вместе с развитием крыльев обеспечила не только их выход на сушу (стр. 76), но и широкое распространение. Жующий аппарат, будучи приспособлением широкого значения, сделал возможным питание как мягкими, так и плотными растительными и животными тканями.

Из других ароморфозов можно назвать хорошо расчлененные конечности, твердый хитиновый покров и центральную нервную систему, развитие сложных безусловных рефлексов обоняния и осязания, способности к образованию многочисленных условных рефлексов.

Проникая в различные среды, насекомые приобрели множество частных приспособлений — идиоадаптаций — к обживанию конкретных местообитаний. Приведите такие примеры.

Господство птиц и млекопитающих. Птицы и млекопитающие заняли господствующее положение в животном мире. Постоянная температура тела позволила им выжить в условиях оледенения и проникнуть далеко в холодные страны. Успешному развитию обеих групп помогло и то, что они заняли каждая в основном особую среду: млекопитающие — наземную, а птицы — воздушную и совместно водную.

От рыб до птиц и млекопитающих происходило последовательное усложнение строения и повышение интенсивности функций центральной нервной системы, в особенности головного мозга. Усложнение строения мозга было неразрывно связано с развитием высшей нервной деятельности, системы условных рефлексов, со все большим усложнением поведения животных

в процессе приспособления к определенным условиям (к жизни в лесу, в степи, в пустыне и т. п.). Оно давало преимущества в жизненном состязании в различных средах обитания.

Такой же характер носила эволюция кровеносной системы позвоночных — от рыб до млекопитающих. Усложнение строения сердца обеспечивало органы птиц и млекопитающих все большим количеством окисленной крови. Благодаря этому обмен веществ и энергии и вся жизнедеятельность у них протекала более интенсивно по сравнению с другими классами позвоночных. Это способствовало установлению многообразных взаимоотношений со средой, развитию центральной нервной системы и органов чувств.

Вершиной развития позвоночных животных оказались млекопитающие. С паразитизмом быстро приобретали они частные приспособления к различным составам самых разнообразных сред обитания. Быстрота развития млекопитающих объясняется тем, что предки их не были узкоспециализированы, а обладали большой пластичностью, но и огромным разнообразием природных условий кайнозойской эры.

С пышным развитием растительности млекопитающие получили новую и очень разнообразную основу кормовую базу. С этого времени началось бурное развитие млекопитающих. Цветковые растения сыграли большую роль в развитии птиц и насекомых. Быстро развивались и животные имели чрезвычайно важное значение в развитии растительности. Достаточно вспомнить многочисленные колебания растений к перекрестному опылению с помощью насекомых и млекопитающих.

Среди млекопитающих выделяются группы, которые положили начало современным группам насекомоядных, рукокрылым, китообразным, копытным, хищным, обезьянам и др. Наиболее крупные млекопитающие — саблезубый тигр, безрогий носорог высотой 5 м, а также мастодонт и динотерий, родственные современным слонам. Во время оледенений на Земле жили мамонты, пещерные медведи, пещерные львы, покрытые густой длинной шерстью.

Появление приматов и человека. В лесах палеогена и неогена обитали небольшие хвостатые лемуры и толкоты. Около 30 млн. лет назад в лесах появились парапитеки («пара» — возле, «питекос» — обезьяна, греч.) — животные величиной с кошку, которые жили на деревьях и питались растениями и насекомыми. Их челюсти и зубы были такими, как у человекообразных обезьян.

От парапитека произошли современные гиббоны и орангутанги и еще одна ветвь — вымершие древние обезьяны, дриопитеки (древесные обезьяны). Дриопитеки дали три ветви, которые повели к шимпанзе, горилле и человеку.

В антропогене животный мир принимает современный облик. Появляется человек и занимает господствующее место в природе.

Геохронологическая таблица¹

Эры		Периоды и их длительность в миллионах лет	Животный и растительный мир
Длительность в миллионах лет	Возраст в миллионах лет		
Кайнозойская (новой жизни) 60—70	60—70	Антропоген 1,5—2	Появление и развитие человека. Животный и растительный мир принял современный облик.
		Неоген 24—24,5 Палеоген 41	Господство млекопитающих, птиц. Появление хвостатых лемуров, долгопятов, позднее — парапитеков, дропитеков. Бурный расцвет насекомых. Продолжается вымирание крупных пресмыкающихся. Исчезают многие группы головоногих моллюсков. Господство покрытосеменных растений.
Мезозойская (средней жизни) 173	240 ± 10	Меловой 70	Появление высших млекопитающих и настоящих птиц, хотя и зубастые птицы еще распространены. Преобладают костистые рыбы. Резкое сокращение папоротников и голосеменных. Появление и распространение покрытосеменных.
		Юрский 58	Господство пресмыкающихся. Появление археоптерикса. Процветание головоногих моллюсков. Господство голосеменных.
		Триасовый 45	Начало расцвета пресмыкающихся. Появление первых млекопитающих, настоящих костистых рыб.
Палеозойская (древней жизни) 330	Возможно, равен 570	Пермский 45	Быстрое развитие пресмыкающихся. Возникновение зверозубых пресмыкающихся. Вымирание трилобитов. Исчезновение каменноугольных лесов. Богатая флора голосеменных.

¹ Длительность и возраст эр и периодов указаны согласно геохронологической шкале, принятой Международным геологическим конгрессом в 1964 г. Геологические эры и периоды указаны на таблице соответственно расположению земных пластов: позднейшие — наверху и древнейшие — внизу. Поэтому чтение таблицы начинайте снизу — с архейской эры и последовательно переходите к более поздним эрам и периодам. Современные радиометрические методы позволяют определить возраст архейской и протерозойской эр в пределах точности ± 50—100 млн. лет.

Длительность в миллионах лет

Протерозойская (ранней жизни) 2000

Архейская (самая древняя в истории земной коры) 90

? 1. С рас- лож- ние 4. П мир

Эры		Периоды и их длительность в миллионах лет	Животный и растительный мир
Длительность в миллионах лет	Возраст в миллионах лет		
		Каменно-угольный 55—75	Расцвет земноводных. Возникновение первых пресмыкающихся. Появление летающих форм насекомых, пауков, скорпионов. Заметное уменьшение трилобитов. Расцвет папоротникообразных. Появление семенных папоротников.
		Девонский 70—50	Расцвет щитковых. Появление кистеперых рыб. Появление стегоцефалов. Распространение на суше высших споровых
		Силурийский 30	Пик развития кораллов, плеченогих, трилобитов. Появление бесчелюстных и одночлениковых — щитковых. Выход растений на сушу — псилофиты. Широкое распространение водорослей.
		Ордовикский 60 Кембрийский, возможно, равен 70	Процветают морские беспозвоночные; широкое распространение трилобитов, водорослей.
Протерозойская (ранней жизни) 2000	2600 ± 100		Органические остатки редки и малочисленны, но относятся ко всем типам беспозвоночных. Появление первичных хордовых — подтипа бесчерепных.
Архейская (самая древняя в истории земной коры) 900	Возможно, равен 3500		Следы жизни незначительны. Породы органического происхождения указывают на существование бактерий и водорослей.

?

1. Чем объяснить господствующее положение покрытосеменных среди растений в кайнозойскую эру? 2. Чем объяснить господствующее положение млекопитающих среди животных в кайнозойскую эру? 3. Какие ароморфозы следует отметить в развитии класса насекомых? 4. По геохронологической таблице проследите развитие органического мира начиная с ранних этапов жизни по антропоген.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА

Вопрос о происхождении человека всегда живо интересовал людей. На разных ступенях культуры и общественного развития человечество давало на него различные ответы. В древних легендах о возникновении первых людей отражались природные и социально-экономические условия того времени. По сказаниям жителей жарких стран, человек произошел из влажной земли под действием солнечного тепла; одни, северные народы, считали своими предками оленя, медведя; другие, источником существования которых был рыбный промысел, думали, что человеческий род ведет свое начало от рыбы.

С появлением и распространением религии возникло учение о сотворении человека богом и о том, что человек состоит из двух начал: тела и души. На земле он временный гость и поэтому должен развивать в себе терпение, смирение, пренебрежение к земным радостям во имя будущей загробной жизни. Нетрудно видеть, кому выгодна такая мораль: она направлена на оправдание социального неравенства и на притупление классового самосознания.

С развитием науки накапливались факты о сходстве в строении человека и животных. В начале XVII в. появилось первое сообщение путешественников о человекообразных обезьянах и о сходстве их с человеком. В своей системе животного мира К. Линней искал место человеку и поместил его в группу приматов, вместе с полуобезьянами и обезьянами. Сходство между человеком и животными, близость их в зоологической системе уже наводили на мысль: нет ли у них и общего происхождения? Ж. Б. Ламарк первым писал, что человек произошел от обезьяноподобных предков, перешедших от лазанья по деревьям к хождению по земле. Новый способ передвижения привел к выпрямлению тела, освобождению рук и изменению стопы. Стадный образ жизни способствовал развитию речи.

С появлением в 1859 г. книги Дарвина «Происхождение видов» некоторые ученые-эволюционисты на Западе и в России распространили учение об эволюции органического мира и на человека. Это вызвало яростные нападки со стороны противников эволюции и религиозно настроенных людей. В 1871 г. вышел в свет труд Дарвина «Происхождение человека», в котором убедительно доказано, что человек представляет последнее высокоорганизованное звено в цепи развития живых существ и имеет общих далеких предков с человекообразными обезьянами.

Движущей силой эволюции человека Дарвин считал естественный отбор, благодаря которому выработалась вертикальная походка и освободились руки. Большое значение, по его

мнении
предк
не см
враще
ское с
Эт

труда
кован
в свет
распо
предк
костей
ли сп

22.

Об
летов
щих,
лет г
конеч
хотя с
век о
этого
лезы,
косто

Ру
вогнор
истори
(стр.
щие и
метно



мнению, имели высокое развитие нервной системы у наших предков, их общественный образ жизни и труд. Однако Дарвин не смог выяснить, какой фактор был ведущим в процессе превращения обезьяны в человека, а стада обезьян — в человеческое общество.

Эта проблема была раскрыта Энгельсом в работе «Роль труда в процессе превращения обезьяны в человека», опубликованной в 1896 г., хотя она была написана вскоре после выхода в свет «Происхождения человека» Дарвина. В то время наука располагала относительно скудными данными об ископаемых предках человека. Позднее многочисленные находки остатков костей и орудий труда ископаемых людей блестяще подтвердили справедливость теории Энгельса.

22. Доказательства происхождения человека от животных

Общие черты строения человека и животных. Сравнение скелетов человека и других животных, особенно млекопитающих, убедительно показывает сходство в их строении: скелет головы, скелет туловища, скелет конечностей. В скелете конечностей человека и других млекопитающих одни и те же кости, хотя они различаются по форме и развитию. Человек относится к млекопитающим, так как имеет все признаки этого класса: внутреннее дыхание, диафрагму, молочные железы, зубы трех родов (резцы, клыки, коренные), три слуховые косточки в среднем ухе и ушные раковины.

Рудименты и атавизмы у человека. Для доказательства животного происхождения человека, как и для доказательства исторического развития животных, особенно важны рудименты (стр. 56). Рассмотрим некоторые из них (рис. 35). Млекопитающие имеют хорошо развитые подкожные мышцы. У человека заметно выражена только лицевая подкожная мускулатура, но

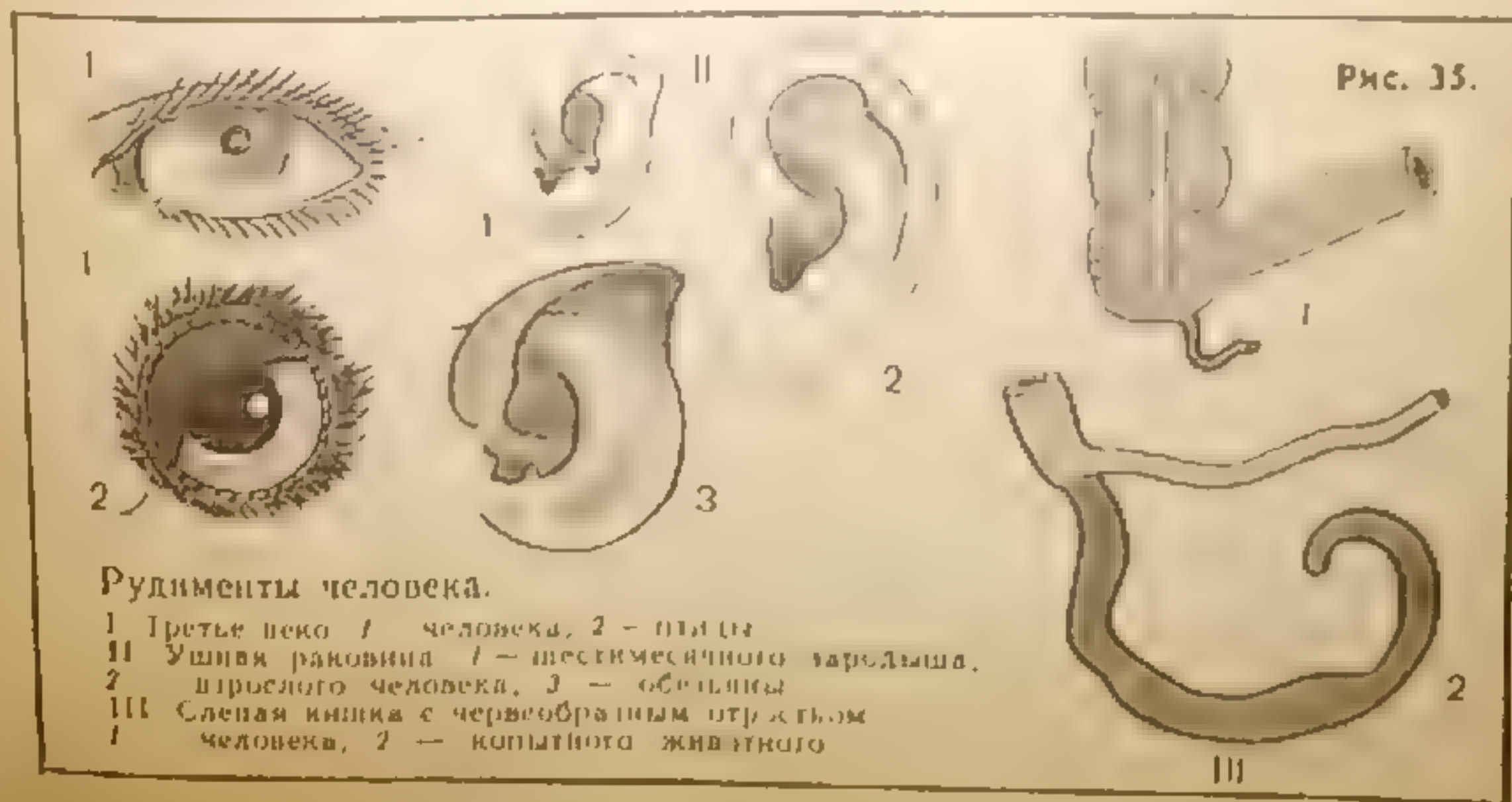
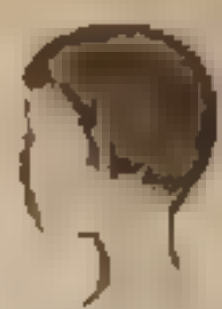
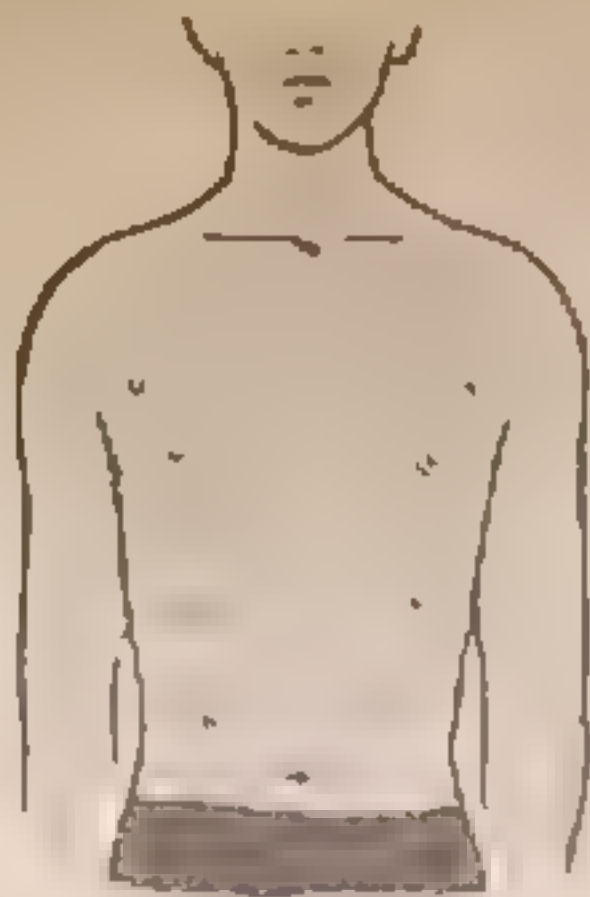
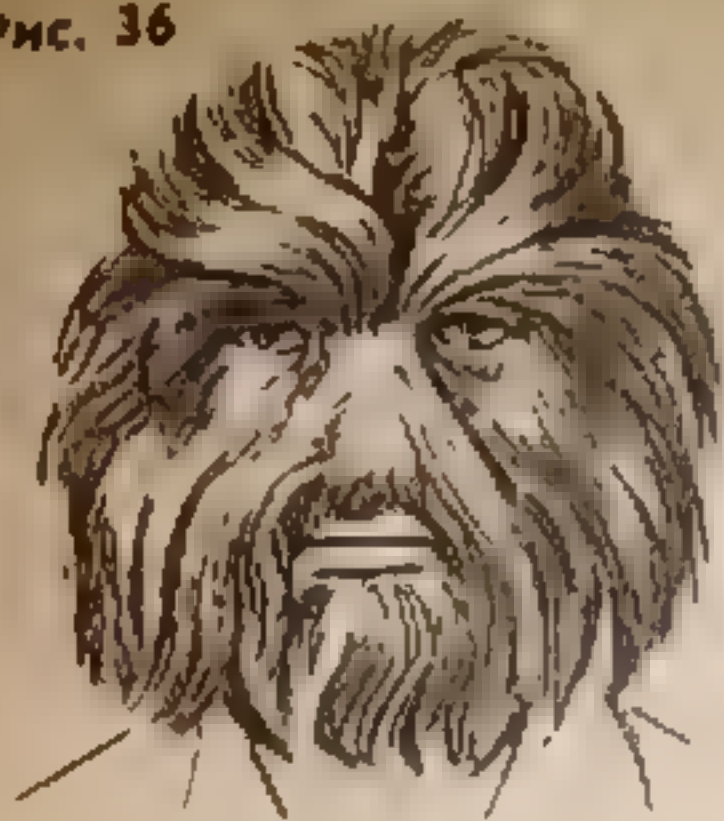


Рис. 36



Атавизмы у человека. Волосатый человек
Многососковость у человека. Хвостатый мальчик

на шее у него сохранилась подкожная мышца в виде рудимента. Среди мышц уха человека есть ненужные для него, но у животных такие мышцы играют заметную роль, когда они прислушиваются к звукам. Кожа человека покрыта незначительным количеством коротких мягких волосков — остатков сплошного волосяного покрова у наших обезьяноподобных предков. Копчик в скелете человека также рудиментарен: он состоит из четырех (реже пяти) недоразвитых, сросшихся между собой позвонков. Потерял свое первоначальное значение червеобразный отросток слепой кишки человека — аппендикс, который принимает участие в переваривании пищи у многих млекопитающих. Не нужен третий коренной зуб, часто недоразвитый или даже отсутствующий. Во внутреннем углу глаза сохранился рудимент третьего века, хорошо развитого у птиц, пресмыкающихся и некоторых других животных: рыб, земноводных. Всего у человека насчитывают свыше 90 рудиментов.

Бывают случаи рождения людей с атавизмами: с хвостом, с густым волосяным покровом тела, с дополнительными сосками (рис. 36).

Все эти факты можно объяснить только животным происхождением человека.

Сходство в развитии зародышей человека и животных. Человек, как и животные, начинает свое развитие с оплодотворенного яйца. Оно дробится, образуются ткани и дают начало органам. По многим признакам человеческий зародыш похож в дальнейшем на зародыши других позвоночных. У него закладываются жаберные щели, как у зародыша рыб (рис. 37); сердце сначала представляет собой трубку с пульсирующими стенками, напоминая пульсирование некоторых сосудов у ланцетника; есть клоака, как у однопроходных.

В возрасте 1,5—3 месяцев человеческий зародыш, подобно зародышам других позвоночных животных, имеет хвост с числом позвонков до десяти, который впоследствии дегенерирует

Рис. 37.

Грехнеде
1 — чело
видны жа

и от кото
гих и рас
человека
кой опор
Мозг
делных
друг за
полушар
полушар
чивающ
дыша он
во обнар
На ранн
Челове
логически
стоят чел

Рис. 39.



Человекоо
1 — горилла

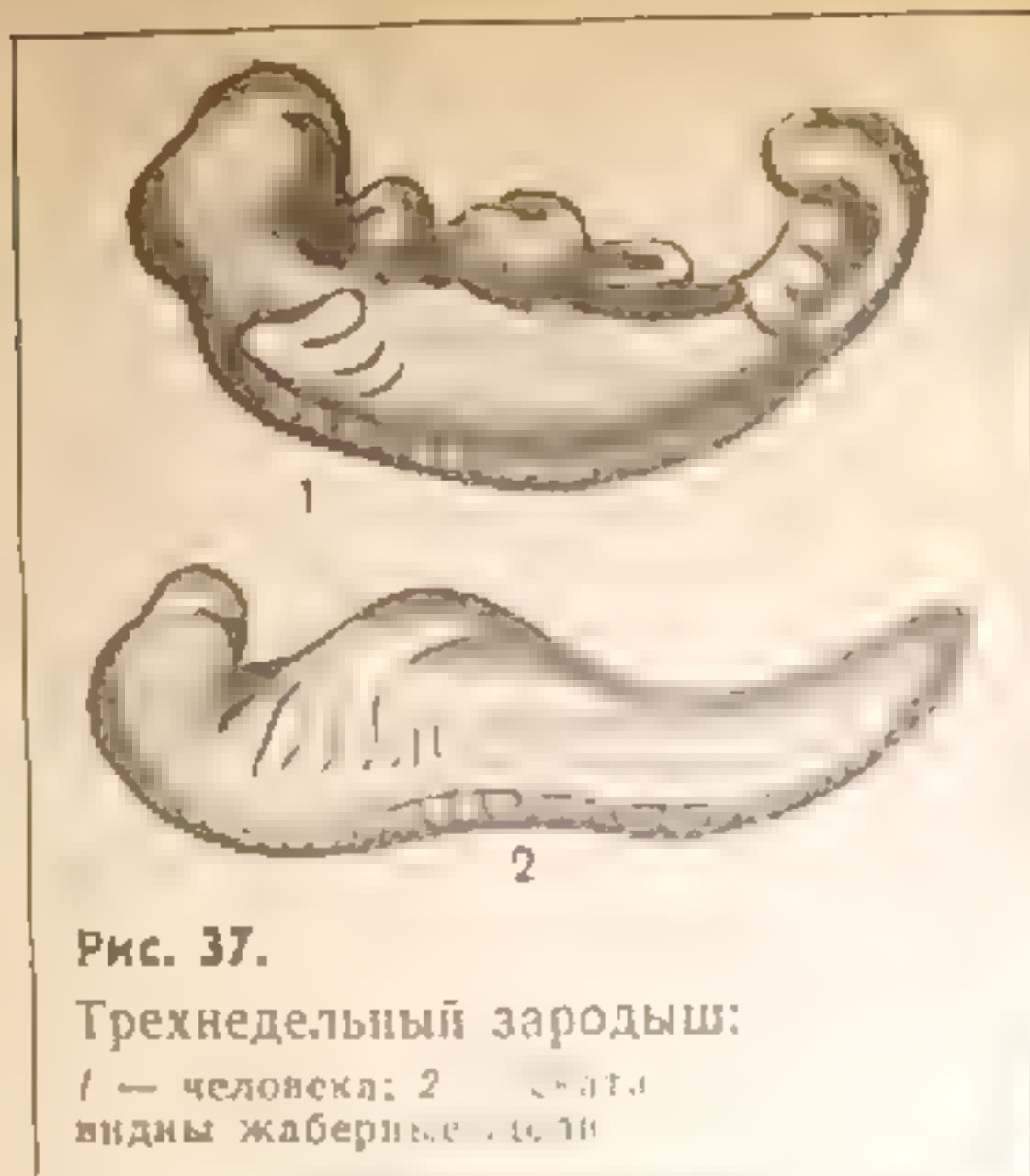


Рис. 37.
Трехнедельный зародыш:
1 — человека; 2 — обезьяны.
Видны жаберные дуги.

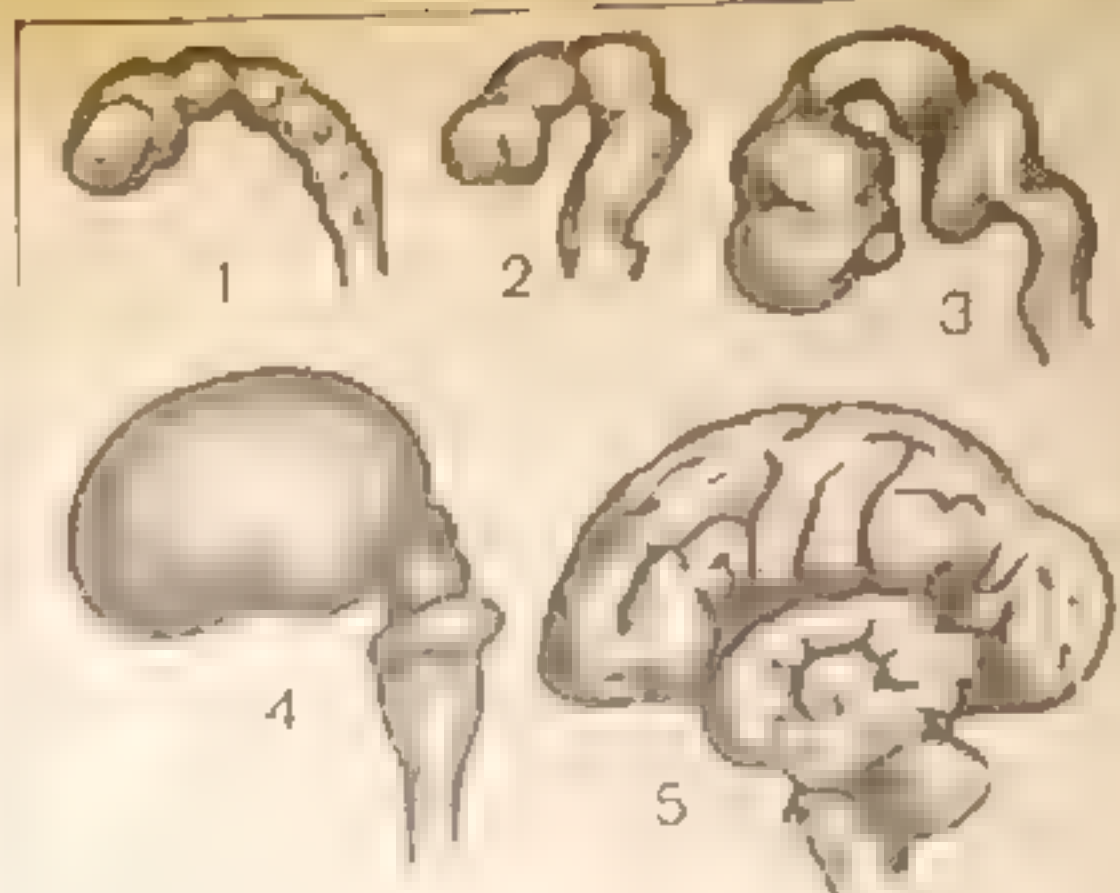


Рис. 38.
Головной мозг человека

и от которого остается корень. Большие пальцы ноги короче других и расположен под углом к остальным пальцам. У взрослого человека он длиннее остальных, параллелен им и служит точкой опоры при ходьбе.

Мозг месячного человеческого зародыша состоит из пяти отдельных частей — мозжечка, среднего мозга, большого мозга, продолговатого мозга и спинного мозга. Постепенно большие полушария надвигаются на мозжечок. На коре больших полушарий появляются борозды и складки (рис. 38), увеличивающие поверхность мозга. В начале развития зародыша он все еще напоминает мозг птицы. Особенное сходство обнаруживается между зародышами обезьяны и человека. На ранних стадиях развития их почти невозможно различить.

Человек и человекообразные обезьяны. По строению и физиологическим особенностям к человеку ближе других животных стоят человекообразные обезьяны: орангутанги, гориллы, шимпанзе.



Рис. 39.
Человекообразные обезьяны:
1 — горилла; 2 — шимпанзе; 3 — орангутанг; 4 — гиббон

Рис. 40.

Шимпанзе
составляет
две бамбуко-
вые палки.



панзе и близкие к ним гиббоны (рис. 39). Орангутанги и гиббоны обитают в Юго-Восточной Азии, гориллы и шимпанзе — в тропических районах Западной Африки.

Человекообразные обезьяны во многом напоминают человека: они выражают чувства радости, гнева, печали, нежно ласкают детенышей, заботятся о них, наказывают за непослушание. У них хорошая память, высокоразвитая высшая нервная деятельность.

Опытами по изучению высшей нервной деятельности че-

ловекообразных обезьян установлено, что они способны пользоваться находящимися под рукой предметами как простейшими орудиями. Например, обезьяны палкой сбивают высоко подвешенные фрукты или добираются до них, поставив друг на друга ящики, применяют палки как рычаги для поднятия тяжести (рис. 40).

У обезьян высоко развиты безусловные рефлексy и условно-рефлекторная деятельность. Но обезьяны обладают только конкретным мышлением. Это означает, что они воспринимают внешний мир через раздражения, действующие только непосредственно на их органы чувств. Однако обобщать, мыслить отвлеченно от самих предметов, т. е. понятиями о них, обезьяны не в состоянии.

Человекообразные обезьяны не имеют хвоста; они могут ходить на задних конечностях, но опираются при этом на руки. У них на пальцах ногти, а не когти, 12—13 пар ребер, 5—6 крестцовых позвонков, число резцов, клыков и коренных зубов как у человека.

В скелете и внутренних органах человекообразных обезьян и человека наблюдается поразительное сходство. Строение уха, глаз, кожи человека очень сходно со строением этих органов у человекообразных обезьян. Красные кровяные клетки этих обезьян не разрушаются в человеческой крови, как это происходит с кровью низших обезьян; есть общие паразиты, например вошь. Все это доказывает их несомненное родство.

Однако между человеком и человекообразными обезьянами существует огромное различие. Основу жизни человека составляет труд, изготовление и применение орудий. Человек живет в обществе и подчиняется законам его развития, т. е. социально-экономическим законам. Человек имеет ряд анатомических и физиологических особенностей. Он ходит прямо на двух ногах, и все его тело приспособлено к прямохождению. Отметим сходство и отличие в скелете обезьяны и человека (рис. 41).

Объем
векообраз
головного
кообразно
века силь
развитие
рыми связ
ности.

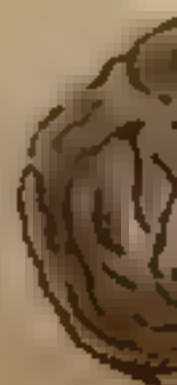
Люди
могут общ
ненный и
способен
искусство.

Важно
у зароды
у взросло

Рис. 41



Скеле



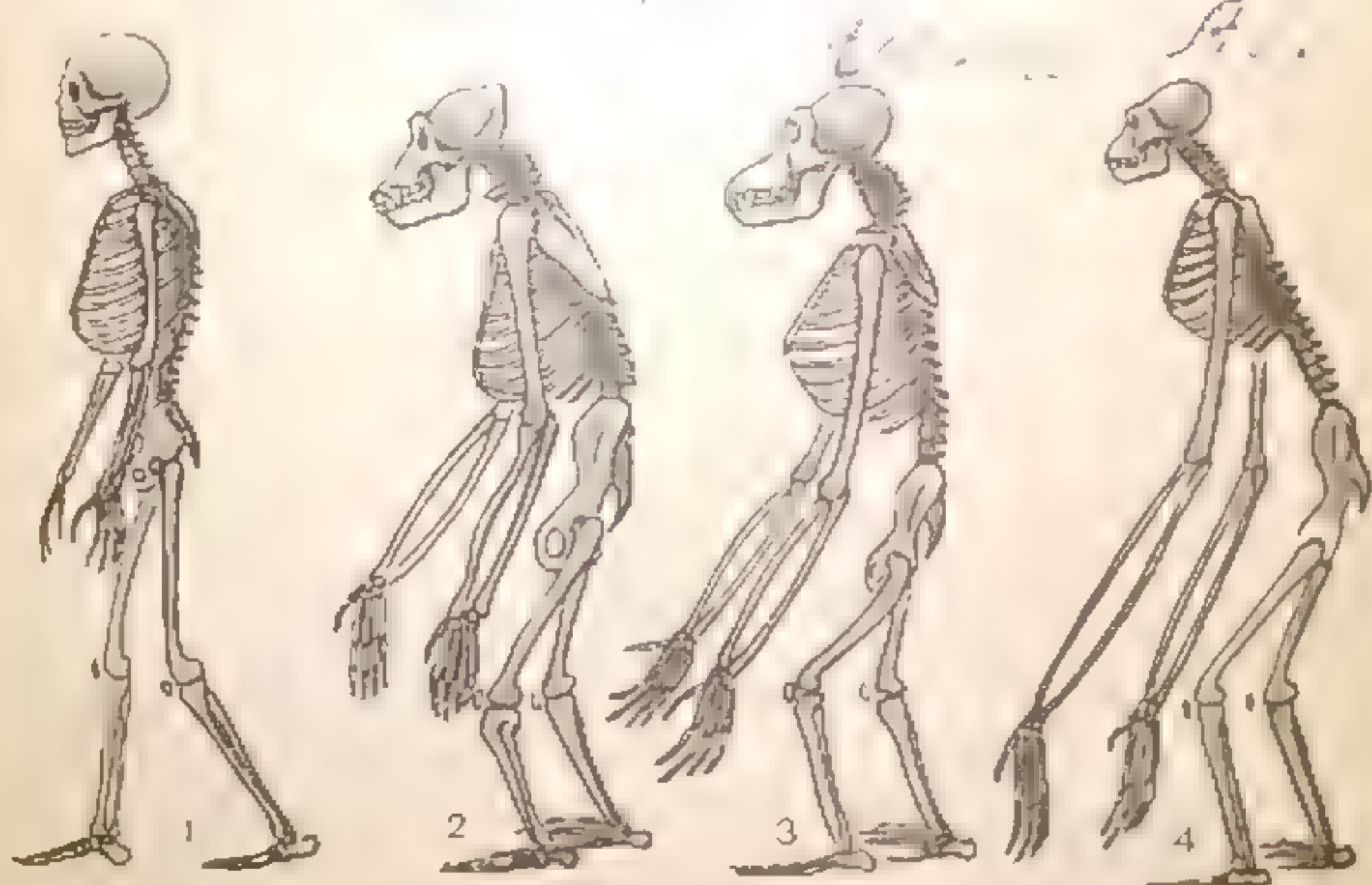
Мозг:

Объем человеческого мозга — около 1400—1600 см³, а человекообразной обезьяны — 600 см³. Поверхность коры полушарий головного мозга у человека в среднем равна 1250 см², у человекообразной обезьяны она меньше примерно в 3,5 раза. У человека сильно развиты мозговые борозды и извилины; большое развитие получили лобные и височные доли (рис. 41), с которыми связаны главнейшие центры высшей умственной деятельности.

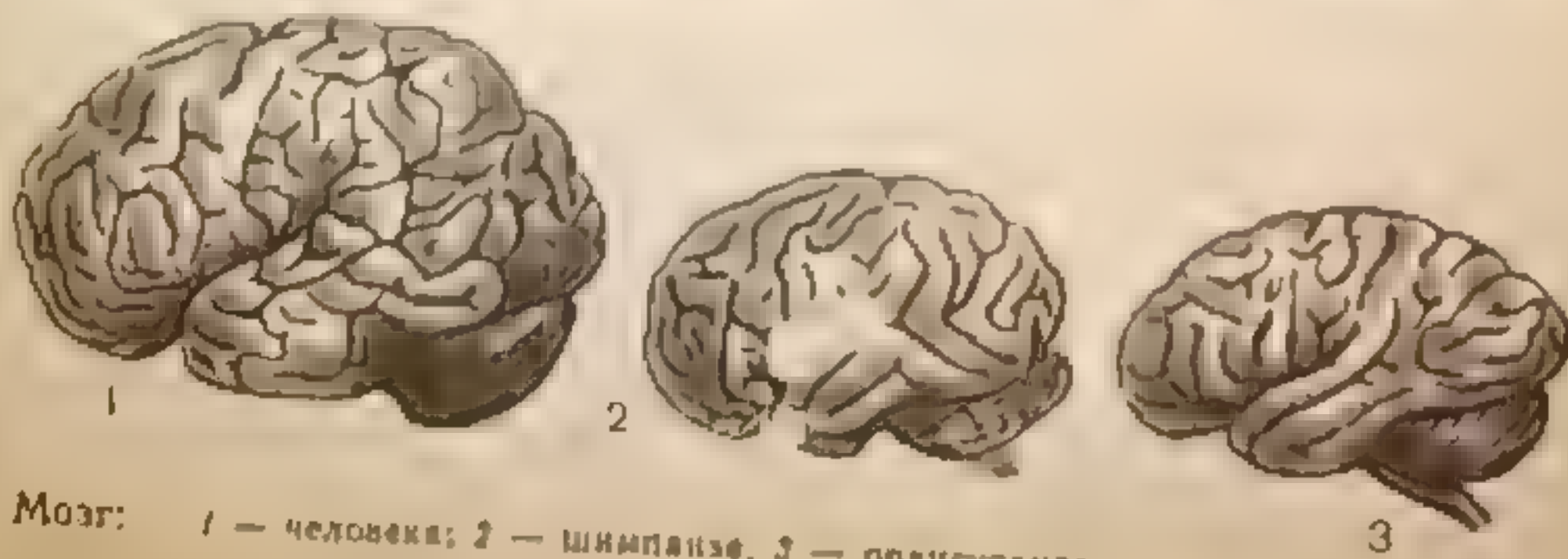
Люди обладают членораздельной речью, благодаря которой могут общаться друг с другом, передавать и накапливать жизненный и трудовой опыт из поколения в поколение. Человек способен мыслить отвлеченно, развивать различные науки и искусство.

Важно отметить, что у зародышей и в раннем детском возрасте различия выражены так резко, как у взрослого человека и человекообразных обезьян.

Рис. 41. Человек и человекообразные обезьяны.



Скелеты 1 — человека 2 — шимпанзе 3 — орангутанга 4 — гиббона



Мозг: 1 — человека; 2 — шимпанзе, 3 — орангутанга.

Каждый из видов человекообразных обезьян ближе к человеку по одним определенным признакам и дальше от него по другим. Так, горилла ближе к человеку по общим пропорциям тела, строению кисти, стопы, таза и некоторым другим особенностям. Шимпанзе больше, чем горилла, подходит к человеку по строению черепа, размерам конечностей. У орангутанга 12 пар ребер, как и у человека. Гиббон напоминает человека строением черепа (сглаженной формой), плоской грудной клеткой и некоторыми другими признаками. Нельзя сказать, какая обезьяна стоит к человеку ближе других. Ни одна из них не является прямым предком человека.

1. Какие научные данные доказывают происхождение человека от животных? 2. Какие доказательства происхождения человека от животных Дарвин считал наиболее важными? Почему? 3. Укажите сходство человека и человекообразных обезьян. 4. Укажите различия в строении человека и человекообразной обезьяны. 5. В чем состоит различие высшей нервной деятельности человека и человекообразной обезьяны? Как объяснить это различие?

23. Роль труда в процессе превращения обезьяны в человека

Труд создал человека. Тело человека замечательно приспособлено к трудовой деятельности, а также к прямохождению. Но вместе с тем и само прямохождение отличается высокой приспособленностью к труду. Человек — член общества и подчиняется законам его развития. Для человеческого общества характерен основной признак — труд его членов. Все достижения материальной и духовной культуры человечества — результат труда многих и многих поколений.

Если животные только пользуются дарами природы, то человек изменяет ее с помощью труда. Изготовление орудий труда, применение их и складывающиеся в человеческом обществе производственные отношения — совершенно новые факторы, каких не может быть среди животных.

Труд начинается с изготовления орудий труда. Труд, по словам Энгельса, «первое основное условие всей человеческой жизни и притом в такой степени, что мы в известном смысле должны сказать: труд создал самого человека».

Первый шаг от обезьяны к человеку. Предками древнейших людей были жившие еще в палеогене высокоразвитые человекообразные обезьяны. Они жили на деревьях и вели стадный образ жизни, питались плодами, листьями, насекомыми, мелкими птицами, передвигались, лазая по ветвям, при помощи верхних и нижних конечностей.

В связи с похолоданием климата в северных и южных широтах земного шара леса поредели. В экваториальной зоне, наоборот, увеличилось количество атмосферных осадков и процветала лесная растительность. Здесь сохранились человекообраз-

ные обезьяны
к лесному
шествию
Совсем
южных
могли пр
ли. Лиш
вах. Им
другими
у одних
гие быст
Обезьяны
тельно ув
размерам
лись раз
ловнях, та
реоскопич
сближенн
ществовал
сохранило
чер у них
зовались
они сире
завети Р
Высоко
функции
ществовал
гическому
на старте
ризонтом
биологичес
образных
но важным
многим из
ры и вес,
дававший
стопа, рас
стал более
ду Это бы
тельно для
Замечате
функции хо
мнению Ф.
хождение.
Возникло
естественн
ли, за исклю
ку. Ни для
прямохожден
земле.

ные обезьяны и до нашего времени, причем их приспособления к лесному образу жизни в процессе естественного отбора совершенствовались.

Совсем по-иному сложилась история обезьян в северных и южных широтах Африки. С исчезновением лесов животные не могли приспособиться к жизни на земле и постепенно вымирали. Лишь немногие перешли к жизни на открытых пространствах. Им пришлось вести жестокую борьбу за существование с другими животными, ранее заселявшими эти пространства. У одних животных были мощные клыки и острые когти, другие быстро бегали, третьи отличались большой мышечной силой. Обезьяны не обладали этими качествами, но у них был значительно увеличен объем головного мозга по отношению к общим размерам тела. Еще при жизни на деревьях обезьяны отличались развитой способностью к ориентировке в окружающих условиях, так как обладали отличным слухом и объемным — стереоскопическим — зрением благодаря выдвинутым вперед и сближенным глазам. У обезьян при лесном образе жизни существовало разделение функций между руками и ногами, что сохранилось и у современных человекообразных обезьян, например у шимпанзе. При передвижении по деревьям обезьяны пользовались руками иначе, чем ногами, — руками они держались за ветви, а ноги — за стволы деревьев. Руками хватывали плоды, а ногами — ветви.

Высокоразвитая ориентировочная способность и разделение функций между передними и задними конечностями были существенными предпосылками к дальнейшему морфофизиологическому прогрессу обезьян при переходе их в новую среду — на открытые безлесные пространства с далеким и широким горизонтом. В этих условиях прямохождение стало со временем биологически необходимым. В организации наземных человекообразных обезьян произошли значительные изменения. Особенно важным было возникновение прямой походки, что привело ко многим изменениям тела обезьян. Так увеличались его размеры и вес, возник S-образный изгиб позвоночного столба, придававший ему гибкость; образовалась сводчатая пружинящая стопа; расширился таз, упрочился крестец, челюстной аппарат стал более легким и т. д. Прямохождение установилось не сразу. Это был весьма длительный процесс, который предположительно длился миллионы лет.

Замечательным изменением было и освобождение руки от функции хождения. Решающий шаг от обезьяны к человеку, по мнению Ф. Энгельса и ранее Ч. Дарвина, заключался в прямохождении.

Возникновение этих изменений невозможно объяснить одним естественным отбором. Ведь все прямоходящие обезьяны вымерли, за исключением только той ветви, которая привела к человеку. Ни для одной из современных человекообразных обезьян прямохождение не служит основным способом передвижения по земле.

Морфо-физиологические преобразования у наших обезьяноподобных предков не были чисто биологическими ароморфозами, как у других животных. Этим преобразованиям подверглась лишь та ветвь человекообразных обезьян, которая и привела к человеку. Следовательно, изменения, которые она претерпела, правильнее будет назвать *антропоморфозами*, так как вызвавшие их факторы были специфичны только для эволюции человека.

Каковы же те факторы, которые вызвали антропоморфозы? Ф. Энгельс указал, что факторами превращения обезьяны в человека были развитие общественного образа жизни, превращение руки в орган, производящий орудия труда, и возникновение членораздельной речи.

Рука — орган и продукт труда. Благодаря прямохождению у обезьяноподобных предков человека руки освободились от необходимости поддерживать тело при передвижении по земле и приобрели способность к вращательным движениям. Руки получили возможность метать камни и сучья для защиты от врагов, срывать плоды, выкапывать подземные съедобные части растений, пользоваться орудиями труда. Обезьяноподобные предки человека превратились благодаря этому в существа, грозные для других животных, так как получили преимущества перед ними. Руки стали совершенно особым органом защиты и нападения, действующим на расстоянии с помощью различных предметов.

В начале процесса формирования человека рука у него была слабо развитой и могла производить лишь самые простые действия. Особи с изменениями верхних конечностей, полезными при защите и нападении, а также полезными для трудовых операций, преимущественно сохранялись естественным отбором, который продолжал еще иметь большое значение. Но прошли многие сотни тысяч лет, прежде чем рука обезьяны превратилась в руку человека. В этом смысле Ф. Энгельс писал, что рука не только орган труда, но и продукт труда.

Различие между рукой человека и рукой человекообразных обезьян огромно: ни одна обезьяна не может изготовить своей рукой даже самый простой каменный нож. Понадобилось весьма длительное время для того, чтобы наши обезьяноподобные предки перешли от использования предметов окружающей природной среды в качестве орудий к их изготовлению.

Развитие общественности у наших обезьяноподобных предков. Труд начался с изготовления самых простых орудий, например ножа или топора из камня. Но с самого начала труд был общественный, так как обезьяны жили стадами. Ф. Энгельс указывал, что неправильно было бы искать предков человека, самого общественного существа в природе, среди общественных животных.

Стадность обезьяньих предков человека развилась в общественность под действием особого фактора. Таким фактором был труд, тесно связанный с преобразованием руки в орган труда. В отличие от животных человек сам создает орудия труда.

Труд
члены об
риалы и
сохранен
и воспит
становил

Нака
шенство
имелись
мощью з
Возни

ного тру
Неразв
изменен
раздельн
рой II Г
ская сиг
высшей

Благо
щих пре
ние. Сло
редачи
человека

Возни
ве совме
вало раз
ция наш
циальны
степенно
тора.

Значе
нашли б
с той, ко
орудия
предки
пищу. П
ные запа

Обра
ща умен
бень, к
мышцы,
гладким
ротился

Призм
холода,
ру. Все
ложение

Возни
ские рас
ществени

Труд способствовал сплочению членов общества. Старшие члены общества обучали младших отыскивать природные материалы и изготовлять орудия, а также учили приемам охоты и сохранения огня; коллективно защищались от зверей, охотились и воспитывали детей. С развитием трудового процесса все яснее становилась полезность взаимной поддержки и взаимопомощи.

Накапливаемый жизненный опыт в познании природы совершенствовался от поколения к поколению. При жизни обществом имелись большие возможности к общению друг с другом с помощью звуков, жестов, мимики.

Возникновение членораздельной речи. В условиях общественного труда возникла жизненная необходимость в органе речи. Неразвитая гортань и ротовой аппарат обезьян претерпели ряд изменений, в результате которых появилась способность к членораздельной речи. Возникла *вторая сигнальная система*, под которой И. П. Павлов понимал слово. Это специфическая человеческая сигнальная система. Она составляет качественное различие высшей нервной деятельности человека и животных.

Благодаря слову возможно отвлечение от реально существующих предметов и обобщение, т. е. человеческое высшее мышление. Слово — важнейшее средство общения между людьми, передачи опыта старших поколений последующим и воспитания человека.

Возникновение речи усилило общение наших предков на почве совместного трудового процесса и в свою очередь способствовало развитию общественных отношений. Таким образом, эволюция наших предков происходила под совместным действием социальных и биологических факторов. Но естественный отбор постепенно утрачивал в эволюции человека роль ведущего фактора.

Значение разнообразной пищи и огня. На земле наши предки нашли более разнообразную растительную пищу по сравнению с той, которой они питались при жизни на деревьях. Древнейшие орудия охоты и рыбной ловли свидетельствуют о том, что наши предки уже на ранних стадиях развития употребляли мясную пищу. Последующее приручение животных обеспечило постоянные запасы мяса и дало новый продукт питания — молоко.

Обработанная и приготовленная на огне, размягченная пища уменьшала нагрузку на жевательный аппарат. Теменной гребень, к которому у обезьян прикрепляются мощные жевательные мышцы, сделался бесполезным и постепенно исчез. Череп стал гладким. При переходе от растительной пищи к смешанной укоротился кишечник.

Применение огня помогло нашим предкам защищаться от холода, отпугивать зверей, а также расселяться по земному шару. Все это обеспечило нашим предкам преимущественное положение в природе.

Возникновение социальных закономерностей. Археологические раскопки показывают, что формирующиеся люди вели общественный образ жизни. Коллективная охота и защита от зве-

рей, особенно совместно производимые трудовые операции сближали людей. Все усложнявшиеся трудовые процессы для изготовления орудий труда и предметов быта, звуковая сигнализация и жесты, мимика содействовали развитию головного мозга и органов чувств.

Развитие же головного мозга, мышления, сознания стимулировало в то же время совершенствование труда и речи. Все полное и лучше осуществлялась преемственность поколений в трудовом опыте. Только в обществе могли развиваться высшие формы мышления, свойственные человеку.

Так обезьяноподобные предки человека благодаря труду вступили на особый путь развития — человеческий — на основе новых законов — законов человеческого общества, раскрытых К. Марксом и Ф. Энгельсом. Люди вступали в новые социальные отношения между собой; труд их становился более многообразным. Они уже занимались не только сбором растений, охотой, рыбной ловлей, но и земледелием, разведением животных. Появились отрасли труда, связанные с изготовлением предметов быта: прядение, ткачество, гончарное дело, обработка металлов и т. п. Возникли торговля, искусство, религия, наука. Племена образовали нации и государства.

1. Расскажите о факторах превращения обезьяны в человека. 2. Может ли превратиться в человека современная человекообразная обезьяна? Почему? 3. Как вы понимаете слова Ф. Энгельса: «Рука, таким образом, является не только орудием труда, она также и продукт его»?

24. Палеонтологические доказательства происхождения человека

Общие предки человека и человекообразных обезьян. Среди первых мелких млекопитающих — насекомоядных (стр. 85) — в мезозойскую эру обособилась группа таких животных, которые не обладали ни острыми зубами и когтями, ни крыльями, ни копытами. Они жили и на земле, и на деревьях, питались плодами и насекомыми. От этой группы и взяли начало ветви, которые повели к полуобезьянам, обезьянам и человеку.

Древнейшими высшими обезьянами, от которых ведут начало предки человека, считают парапитеков (стр. 89). Эти древние малоспециализированные обезьяны дивергировали на две ветви: одна привела к современным гиббонам и орангутангам, другая — к дриопитекам, вымершим древесным человекообразным обезьянам. Дриопитеки подверглись дивергенции в трех направлениях: одна ветвь повела к шимпанзе, другая — к горилле и третья — к человеку. *Человек и человекообразные обезьяны стоят между собой в ближайшем родстве. Но это разные ветви общего родословного ствола.*

Ученые предполагают, что прародина человечества была где-то на территории, включающей северо-восточную часть Афри-

ки, Юж
лись по
Како
древней
наружен
па южн
люс» —
с древн
предкам
Австр
простра
знали м
В на
Луис Л
Таизани
кости.
рым он
сколько
га их н
остренн
венно о
политоз
ми. Мо
обезьян
ков соз
тов в к
товлени
Пред
к афри
обезьян
процесс
и разви
В пр
дин, ил
вые со
Дре
обезьян
ицеств
дей. Се
ло мил
Пит
(рис. 4
врачом
ногах,
ну. Им
же дл
кая и с
Лоб о
сти сил
Пит

ки, Южную Азию, юго-восток Европы, откуда люди расселились по всей Земле.

Каковы же были исходные формы, от которых взяли начало древнейшие люди? До настоящего времени такие формы не обнаружены, но представление о них дает хорошо изученная группа южноафриканских обезьян — австралопитеков («аустралюс» — южный). Эта группа обитала на Земле одновременно с древнейшими людьми, поэтому не может считаться прямыми предками людей.

Австралопитеки жили среди скал на равнинных безлесных пространствах, были двуногими, ходили чуть наклонившись, знали мясную пищу, их череп имел объем примерно 650 см³.

В начале 60-х годов нашего столетия английский ученый Луис Лики в Олдовайском ущелье на территории современной Танзании (Восточная Африка) нашел обломки черепов, кости кисти, стопы, голени, ключицы. Ископаемые существа, которым они принадлежали, по строению стопы и кисти были несколько ближе к человеку, чем австралопитеки, но объем мозга их не превышал 650 см³. Там же были найдены гальки заостренной формы и камни, оставлявшие впечатление искусственно обработанных. По мнению большинства советских антропологов, эти существа следует считать также австралопитеками. Морфологически они мало отличались от человекообразных обезьян. Отличие состояло в развитии первых проблесков сознания, связанных с употреблением природных предметов в качестве орудий, что подготовляло переход к их изготовлению.

Предполагают, что предками древнейших людей был близкий к африканским австралопитекам вид двуногих человекообразных обезьян, у которых на основе наследственной изменчивости в процессе естественного отбора выработалась способность часто и разнообразно использовать палки, камни в качестве орудий.

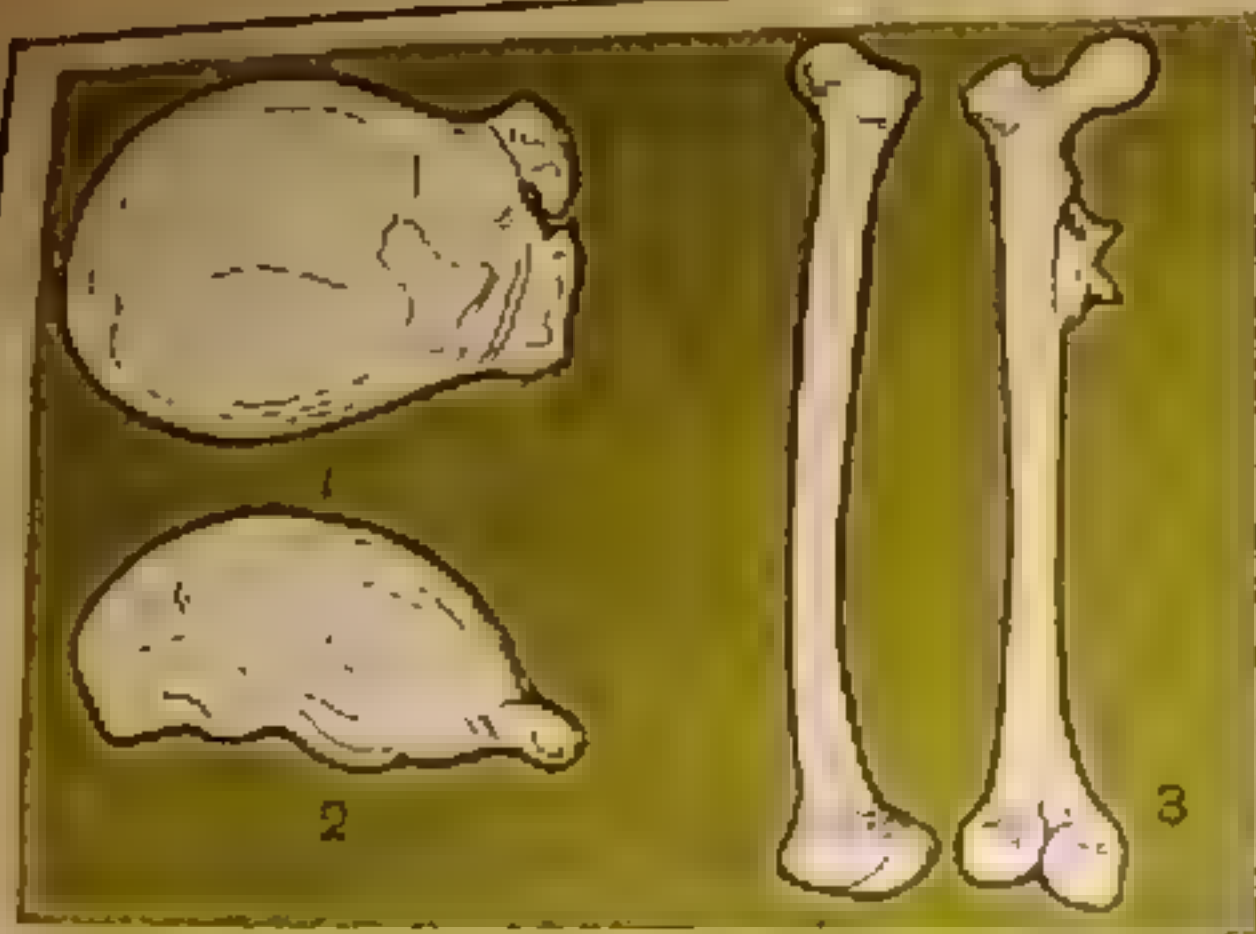
В процессе становления человека следует различать три стадии, или фазы: 1) древнейшие люди, 2) древние люди и 3) первые современные люди.

Древнейшие люди. Переход от ископаемых человекообразных обезьян к человеку совершился через ряд промежуточных существ, совмещавших черты обезьян и человека, — обезьянолюдей. Считают, что они появились в начале антропогена, т. е. около миллиона лет назад.

Питекантроп означает в переводе «обезьяночеловек» (рис. 42). Его останки впервые были обнаружены голландским врачом Дюбуа в 1891 г. на о. Ява. Питекантроп ходил на двух ногах, слегка наклоняясь вперед и, возможно, опираясь на дубину. Имел рост около 170 см, черепная коробка была у него такой же длины и ширины, как у современного человека, но более низкая и состояла из толстых костей. Объем мозга достигал 900 см³. Лоб очень покатый, над глазами костный сплошной валик. Челюсти сильно выдавались вперед, подбородочного выступа не было.

Питекантропы создали из камня первые орудия, которые на-

Рис. 42. Питекантроп.



Черепная крышка:
1 — вид сверху;
2 — вид сбоку;

3 — бедренные
кости;

4 — реставрированный череп



шли в тех же слоях, что и кости. Это примитивные скребки, сверла. Несомненно, что питекантропы употребляли в качестве орудий палки, сучья. Древнейшие люди мыслили, изобретали.

Возникновение труда оказалось могучим толчком к развитию мозга. Дарвин придавал исключительное значение высокому умственному развитию наших предков, даже наиболее древних. Развитие ума сделало большой шаг вперед с возникновением речи. По мнению Ф. Энгельса, зачатки речи возникли у древнейших людей в виде нечленораздельных звуков, имевших значение различных сигналов.

Интересны находки *синантропа* — «китайского человека», жившего несколько позднее питекантропа. Его останки найдены в 1927—1937 гг. недалеко от Пекина.

Внешне синантроп во многом напоминал питекантропа: лоб низкий, с развитым надбровным валиком, массивная нижняя челюсть, зубы крупные, подбородочный выступ отсутствовал.

Однако синантропы были более развитыми существами. Объем их мозга колебался от 850 до 1220 см³, левая доля мозга, где расположены двигательные центры правой стороны тела, была несколько больше по сравнению с правой долей. Следовательно, правая рука у синантропов была более развита, чем левая. Синантропы добывали и умели поддерживать огонь, одевались, видимо, в шкуры. В раскопках были обнаружены мощный слой золы, обуглившиеся сучья, трубчатые кости и черепа крупных животных, орудия из камней, костей, рогов.

В 1907 г. близ г. Гейдельберга в Германии (на современной территории ФРГ) была найдена нижняя очень массивная челюсть, без подбородочного выступа, но с зубами, как у человека (рис. 43). Обладателя этой челюсти называли *гейдельбергским человеком*. Питекантропа и синантропа считают двумя видами первого подрода — обезьянолюдей (род людей): питекантроп прямоходящий и пекинский синантроп. Они являются представителями первой начальной стадии превращения обезьяны в

Рис. 43.



Нижняя
ско
серы
няя че
ловека.

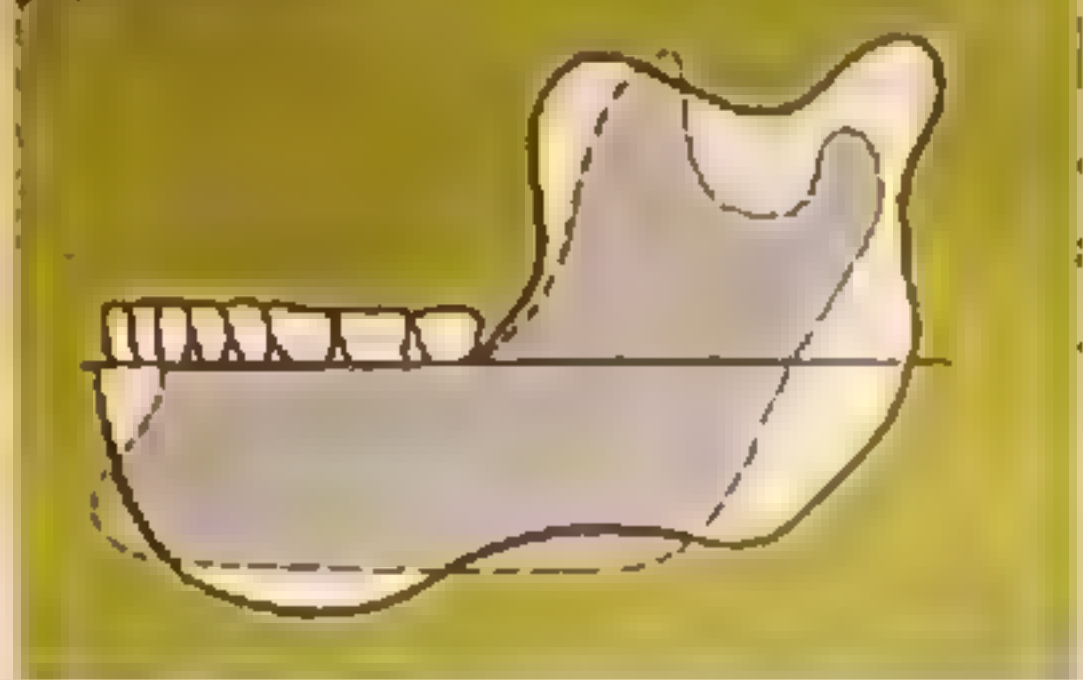
манин
андерта.
Первые
550 тыс.

Неан
в срет
был еще
но разви
ного вы
ближал
было ме
у них бы
тяжелых
стоянно
пищей.
днями (

Судя
что при
стами, не
ной речи
чины охо
корни и
Неандерт
дертальц
ду — др
менных л

Первы
ходок ске
кромань
живших
ружены и
Крома
лбом и о

Рис. 43.



Нижняя челюсть гейдельбергского человека. Для сравнения серым цветом обозначена нижняя челюсть современного человека.

человека; по выражению Ф. Энгельса, это «формировавшиеся» люди. От них произошли представители второй стадии очеловечения — неандертальцы. Гейдельбергского же человека одни исследователи относят к древнейшим людям, а другие — к древним.

Древние люди. В самых нижних слоях пещерных отложений Европы, Азии и Африки были обнаружены целые костяки взрослых и детей *неандертальцев* (названных по имени места находки в 1856 г. — долины реки Неандер в Германии на современной территории ФРГ).

В СССР останки неандертальцев обнаружены на юге Узбекистана и в Крыму. Первые поселения неандертальцев относятся ко времени 400—550 тыс. лет назад.

Неандертальцы были ниже нас ростом, коренастые (мужчины в среднем 155—158 см), ходили несколько согнувшись. У них был еще низкий скошенный лоб; у основания его нависали сильно развитые надбровные дуги, нижняя челюсть без подбородочного выступа или со слабым развитием его. Объем мозга приближался к мозгу человека — около 1400 см³, но извилин мозга было меньше. Изогнутость позвоночника в поясничной области у них была меньше, чем у современного человека. Они жили в тяжелых условиях наступления ледников, в пещерах, где постоянно поддерживали огонь. Питались растительной и мясной пищей. Неандертальцы владели каменными и костяными орудиями (рис. 44). Видимо, у них были и деревянные орудия.

Судя по строению черепа и лицевых костей, ученые полагают, что при общении между собой неандертальцы пользовались жестами, нечленораздельными звуками и зачаточной членораздельной речью. Они жили группами, по 50—100 человек вместе. Мужчины охотились на зверей; женщины и дети собирали съедобные корни и плоды; старшие, более опытные, изготавливали орудия. Неандертальцы одевались в шкуры и пользовались огнем. Неандертальцев считают видами, относящимися ко второму подроду — древним людям (род людей). Они предки первых современных людей — кроманьонцев.

Первые современные люди. Известно большое количество находок скелетов, черепов и орудий первых современных людей — *кроманьонцев* (название местечка Кроманьон на юге Франции), живших 100—150 тыс. лет назад. Останки кроманьонцев обнаружены и в СССР (к югу от Воронежа, на правом берегу Дона).

Кроманьонцы ростом были до 180 см, с высоким прямым лбом и объемом черепной коробки до 1600 см³; сплошной над-

Рис. 44.



Неандерталец.

I. Череп. II. Прimitивные каменные орудия:

1 — остроконечник; 2 — скребло; 3 — резец; 4 — способ пользования резцом.

глазничный валик отсутствовал. Развитый подбородочный выступ указывал на хорошее развитие членораздельной речи (рис. 45). Кроманьонцы жили в землянках, пещерах с разрысованными стенами. Орудия из рога, кости, кремня очень разнообразны, украшены резьбой. На стенах жилищ изображались эпизоды охоты, священные пляски, люди и божества. Рисунки сделаны охрой и другими минеральными красками или нацарапаны. Кроманьонцы одевались в одежды из шкур, сшитые костяными и кремневыми иглами. Техника изготовления орудий труда и предметов быта много совершеннее, чем у неандертальцев. Человек умел шлифовать, сверлить, знал гончарное дело (рис. 45). Он приручал животных и делал первые шаги в земледелии. Кроманьонцы жили родовым обществом.

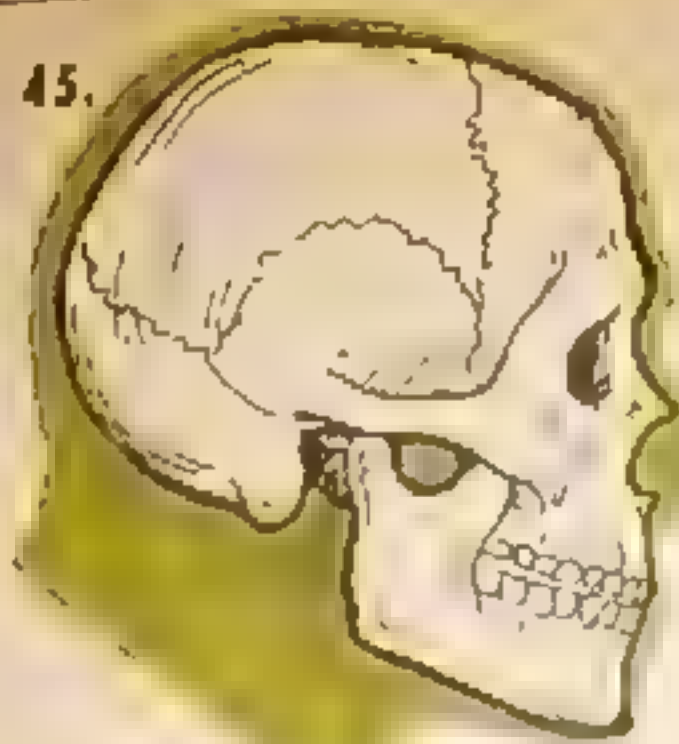
Кроманьонцы и современные люди образуют вид *Homo sapiens* — человек разумный, относящийся к третьему подроду — новым людям (род людей).

Так, поднявшись от животного мира, наши предки в результате сложного и длительного процесса становления человека превратились в людей современного вида. Ведущими и определяющими стали социальные факторы и законы. В этом качественное своеобразие эволюции человека по сравнению с эволюцией животных.

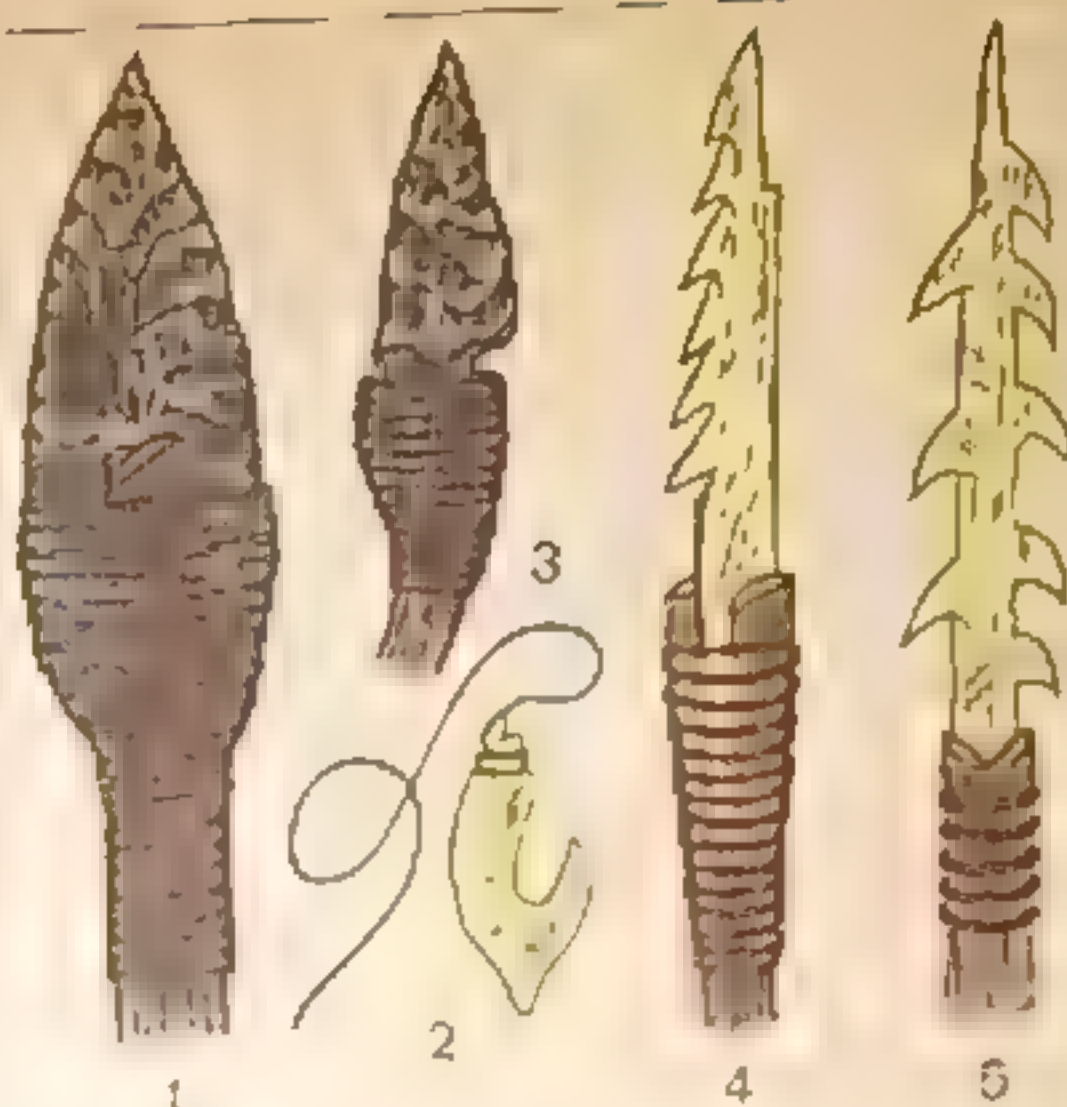
Наследственная изменчивость и естественный отбор среди людей и теперь имеют место, но на основе развивающегося знания и социального переустройства человек учится управлять биологическими законами, предупреждать вредные проявления и усиливать полезные.

- ? 1. Докажите, что родословная человека подтверждает значение в его происхождении труда как главного ведущего фактора. 2. Почему в процессе превращения обезьяны в человека естественный отбор постепенно потерял значение ведущего фактора эволюции? 3. Чем отличались древние люди от древнейших? 4. В чем отличие кроманьонцев от неандертальцев?

рис. 45.



II



Кроманьонец.

I. Череп. II. Орудия:

1 — наконечник на деревянной рукоятке;
 2 — костяной крючок; 3 — каменный наконечник;
 4 — гарпуны из рога; 5 — копье-металка

25. Единство происхождения человеческих рас

Путь развития всего человечества был единым — через труд, через организацию и развитие общества. Когда люди достигли определенной приспособленности к жизни в процессе охоты и трудовой деятельности, эволюция их физического склада замедлилась и свелась к эволюции мелких второстепенных признаков. По этой причине в настоящее время на Земле обитает один вид человека. На принадлежность к одному виду указывает единство строения у всех людей мозга, скелета, руки, т. е. ведущих признаков, обусловленных человеческим путем развития, а также легкая скрещиваемость и плодovitость потомства.

Человечество образует несколько групп, давно получивших название рас. Европейские народы принадлежат к европеоидной расе. Некоторые народы Азии и Америки относятся к монголоидной расе (монголы, буряты, китайцы и др.). Большинство африканских народов составляют негроидную расу. Все расы стоят на одном биологическом уровне. Различия между ними заключаются в особенностях цвета кожи, волос, глаз и т. п. Такие различия возникли когда-то у разных групп людей, живших в разнообразных природных условиях. Например, темная пигментация кожи могла возникнуть как защитное приспособление организма против ярких лучей солнца в африканских странах. С развитием социальных отношений обособленность человеческих рас и морфологическое отличие между ними уменьшаются в результате смешанных браков.

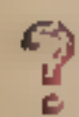
В буржуазных странах получила распространение так называемая расовая теория. Сущность ее состоит в утверждении, что человеческие расы якобы неравноценны: одни — высшие, другие — низшие. Расисты считают, что причина экономической и культурной отсталости некоторых народов заключается в их «расовой биологической неполноценности».

Расисты не признают единства происхождения рас. По их мнению, европейская раса произошла от неандертальца, монголоидная — от синантропа, а негроидная ведет начало от австралопитека; между тем хорошо известно, что неандерталец был распространен во всем Старом Свете.

Ложная теория о делении рас на «высшие» и «низшие» направлена к оправданию империалистических войн, колониальной политики и расовой дискриминации.

Не расовые отличия, а колониальная политика империалистических стран, угнетение одних народов другими — вот причина отсталости некоторых народов в экономическом и культурном отношении. Наилучшим доказательством этого положения является расцвет экономики и культуры всех национальностей (свыше 100) в СССР после Великой Октябрьской социалистической революции.

Освобождение многих стран Азии, Африки и Латинской Америки от колониальной зависимости и угнетения, происшедшее за последние годы, показывает, как быстро идут народы этих стран по пути цивилизации и развития своей экономики.



1. Какие можно привести доказательства принадлежности всех человеческих рас к одному виду? 2. Что такое «расовая теория» и в чем ее реакционная сущность?

КЛЕТКА И ИНДИВИДУАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ОРГАНИЗМОВ

Глава VI. УЧЕНИЕ
О КЛЕТКЕ

Глава VII. ПРОИСХОЖДЕНИЕ
И НАЧАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ
ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

Глава VIII. РАЗМНОЖЕНИЕ
И ИНДИВИДУАЛЬНОЕ
РАЗВИТИЕ ОРГАНИЗМОВ

УЧЕНИЕ О КЛЕТКЕ

Большинство живых организмов, населяющих нашу планету, имеет клеточное строение, и их индивидуальное развитие начинается из одной клетки. Поэтому клетка представляет собой основную единицу строения и развития всех существующих сейчас растительных и животных организмов. Однако наряду с этими организмами известна большая группа неклеточных существ. Их строение значительно проще, чем строение клетки. В настоящее время наука о клетке — *цитология* («цитос» — клетка, «логос» — наука, *греч.*) — располагает исключительно большим материалом о строении и функциях клеток, об их химическом составе. Ознакомление с современным состоянием знаний о клетке, а также и о неклеточных формах организмов составляет основную задачу данной главы.

26. Изучение клетки

История изучения клетки. Огромное большинство клеток имеет микроскопически малые размеры и не может быть рассмотрено невооруженным глазом. Увидеть клетку и начать ее изучение оказалось возможным лишь тогда, когда был изобретен микроскоп. Первые микроскопы появились в начале XVII столетия. Для научных исследований микроскоп впервые применил английский ученый Роберт Гук (1665). Рассматривая под микроскопом тонкие срезы пробки, он увидел на них многочисленные мелкие ячейки. Эти ячейки, отделенные друг от друга плотными стенками, Гук назвал клетками, применив впервые термин «клетка».

В последующий период, охвативший вторую половину XVII столетия, весь XVIII в. и начало XIX в., шло усовершенствование микроскопа и накапливались данные о клетках животных и растительных организмов. К середине XIX столетия микроскоп был значительно усовершенствован и стало многое известно о клеточном строении растений и животных. Основные материалы о клеточном строении растений в это время были собраны и обобщены немецким ботаником М. Шлейденом.

Все полученные данные о клетке послужили основой для создания клеточной теории строения организмов, которая была сформулирована в 1838 г. немецким зоологом Т. Шванном. Изучая клетки животных и растений, Шванн обнаружил, что они сходны по своему строению, и установил, что клетка представляет собой общую элементарную единицу строения животных и растительных организмов. Теорию о клеточном строении организмов Шванн изложил в классической работе «Микро-

скопические исследования о соответствии в строении и росте животных и растений».

В начале прошлого столетия знаменитый ученый, академик Российской Академии наук Карл Бэр открыл яйцеклетку млекопитающих и показал, что все организмы начинают свое развитие из одной клетки. Эта клетка представляет собой оплодотворенное яйцо, которое дробится, образует новые клетки, а из них формируются ткани и органы будущего организма.

Открытие Бэра дополнило клеточную теорию и показало, что клетка не только единица строения, но и единица развития всех живых организмов.

Чрезвычайно существенным дополнением к клеточной теории было и открытие деления клеток. После открытия процесса клеточного деления стало совершенно очевидно, что новые клетки образуются путем деления уже существующих, а не возникают заново из неклеточного вещества.

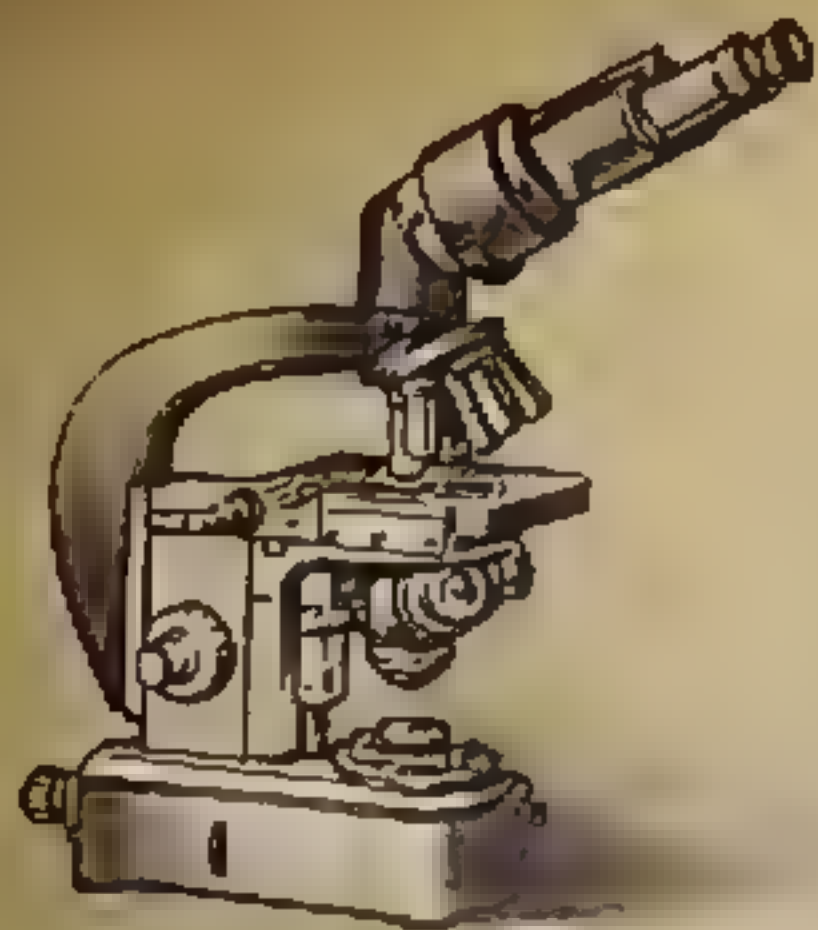
Теория клеточного строения организмов включает также важнейшие материалы для доказательства единства происхождения, строения и развития всего органического мира. Ф. Энгельс высоко оценил создание клеточной теории, поставив ее по значению рядом с законом сохранения энергии и теорией естественного отбора Ч. Дарвина.

К концу XIX в. микроскоп был усовершенствован настолько, что стало возможным изучать детали строения клетки и были открыты основные ее структурные компоненты. Одновременно стали накапливаться знания об их функциях в жизнедеятельности клетки. К этому времени относится появление цитологии, которая в настоящее время представляет собой одну из наиболее интенсивно развивающихся биологических дисциплин.

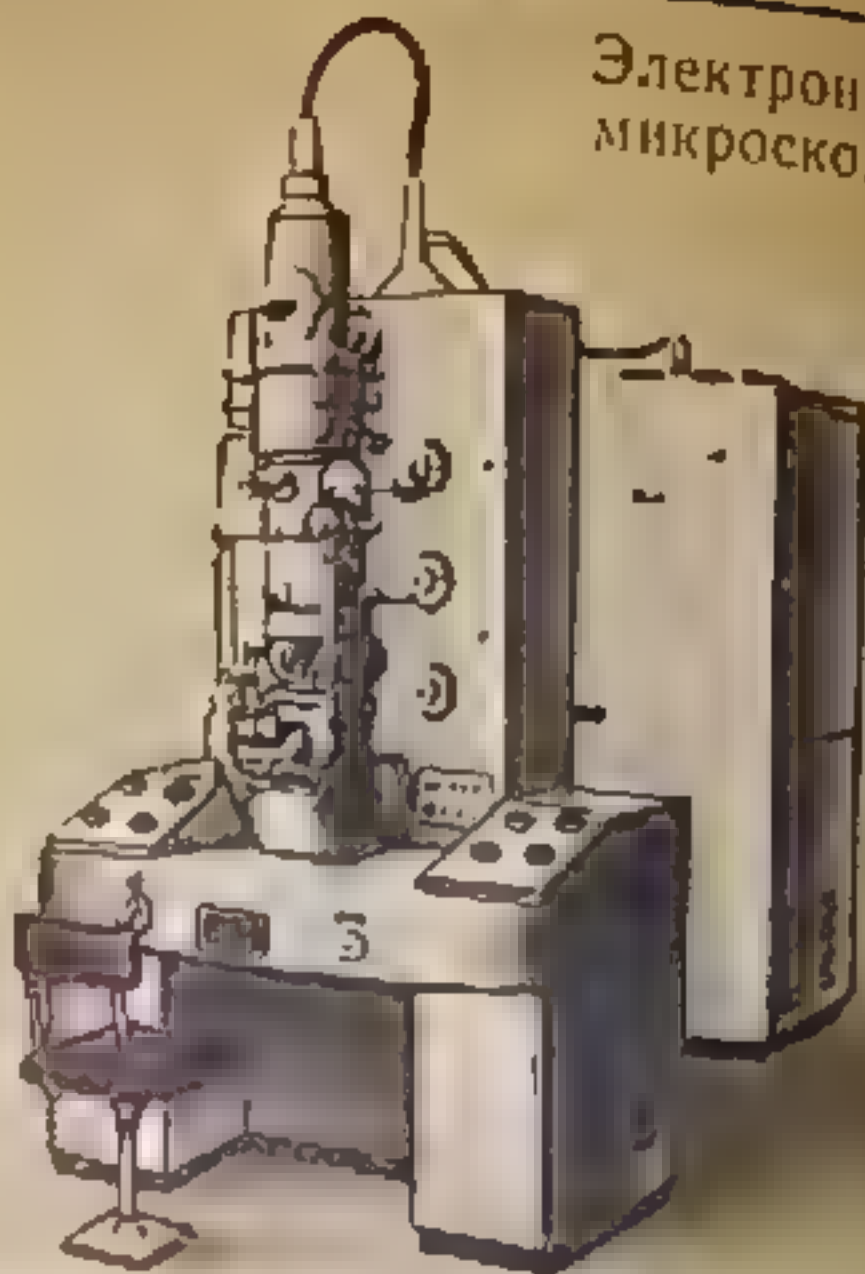
Методы изучения клетки. Современная цитология располагает многочисленными и часто довольно сложными методами исследования, которые позволили установить тонкие детали строения и выявить функции самых разнообразных клеток и их структурных компонентов. Исключительно большую роль в цитологических исследованиях продолжает играть световой микроскоп (рис. 46), который в наши дни представляет собой сложный, совершенный прибор, дающий увеличение до 2500 раз. Но и столь большое увеличение далеко не достаточно для того, чтобы видеть тонкие детали строения клеток, даже если рассматривать срезы толщиной 5—10 мкм¹, окрашенные специальными красителями.

Совершенно новая эпоха в изучении строения клетки началась после изобретения электронного микроскопа (рис. 46), который дает увеличение в десятки и сотни тысяч раз. Вместо света в электронном микроскопе используется быстрый поток электронов, а стеклянные линзы светоптического микроскопа заменены в нем электромагнитными полями. Электроны, летящие с большой скоростью, сначала концентрируются на исследуемом

¹ 0,001 мм = 1 микромметр (микрон) мкм ; 0,0001 мкм = 1 ангстрем (Å). 111



Современный световой микроскоп.



объекте, а затем попадают на экран, подобный экрану телевизора, и на нем можно либо наблюдать увеличенное изображение объекта, либо его фотографировать. Электронный микроскоп был сконструирован в 1933 г., а особенно широко стал применяться для исследования биологических объектов в последние 10—15 лет.

Для исследования в электронном микроскопе клетки подвергаются очень сложной обработке. Приготавливаются тончайшие срезы клеток, толщина которых равна 100—500 Å. Только такие тонкие срезы пригодны для электронномикроскопического исследования в связи с малой проникаемостью их для электронов.

В последнее время все больше и больше используются химические методы исследования клетки. Специальная отрасль химии — биохимия располагает в наши дни многочисленными тонкими методами, позволяющими точно установить не только наличие, но и роль химических веществ в жизнедеятельности клетки и целого организма. Созданы сложные приборы, называемые центрифугами, которые развивают огромную скорость вращения (несколько десятков тысяч оборотов в минуту). С помощью таких центрифуг можно легко отделить структурные компоненты клетки друг от друга, так как они имеют разный удельный вес. Этот очень важный метод дает возможность изучать отдельно свойства каждой части клетки.

Изучение живой клетки, ее тончайших структур и функций — задача очень нелегкая, и только сочетание усилий и колоссальной работы цитологов, биохимиков, физиологов, генетиков и биофизиков позволило детально изучить ее структурные элементы и определить их роль.

1. Когда и кем была сформулирована теория о клеточном строении организмов? Какова оценка этой теории Ф. Энгельсом? 2. Какие приборы используются сейчас для изучения строения и функций клеток?

Кл
ма со
собой
мента

С
ней
лись
того,
форм
няют
тельны

Ос
и под
также

27. Строение клетки

Клетка любого одноклеточного и многоклеточного организма состоит из двух важнейших, неразрывно связанных между собой частей: *цитоплазмы* и *ядра*, которые представляют элементарную целостную живую систему.

С формой, размерами и функциями клеток различных тканей и органов многоклеточных организмов вы уже познакомились раньше. Поэтому внимательно рассмотрите рисунок 47 для того, чтобы вспомнить разнообразные примеры зависимости формы и размеров клеток от тех функций, которые они выполняют в сложном многоклеточном организме, прошедшем длительный путь эволюции.

Основные органеллы клеток растений и животных, открытые и подробно изученные с помощью светового микроскопа, вам также уже известны. Рассмотрите схемы строения клеток, изо-

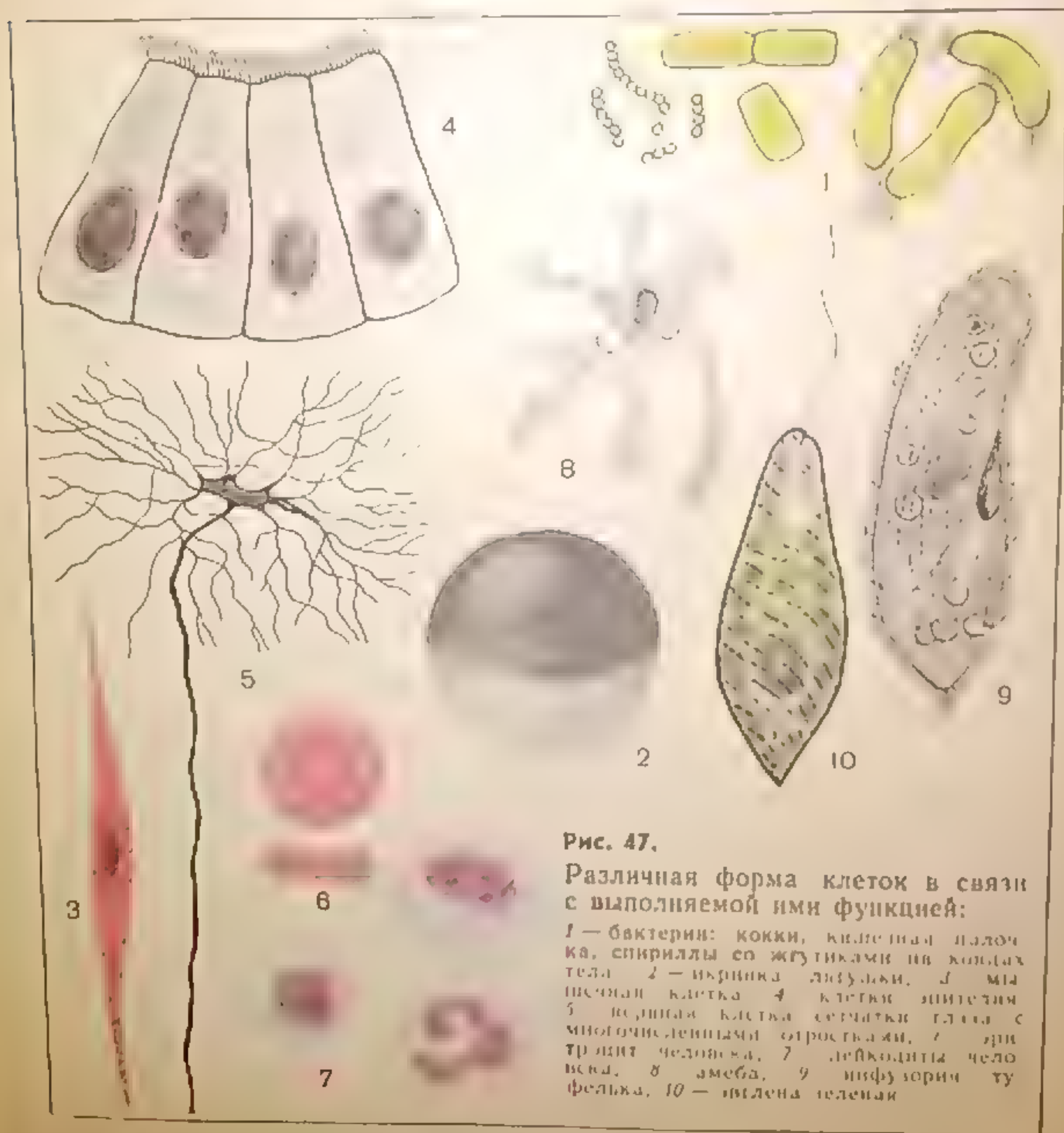


Рис. 47.

Различная форма клеток в связи с выполняемой ими функцией:

1 — бактерии: кокки, палочка, спиралли со жгутиками на концах тела. 2 — дрожинка. 3 — мышечная клетка. 4 — клетки эпителия. 5 — нервная клетка. 6 — эритроцит человека. 7 — лейкоцит человека. 8 — амёба. 9 — инфузория туфелька. 10 — клетка растительная.

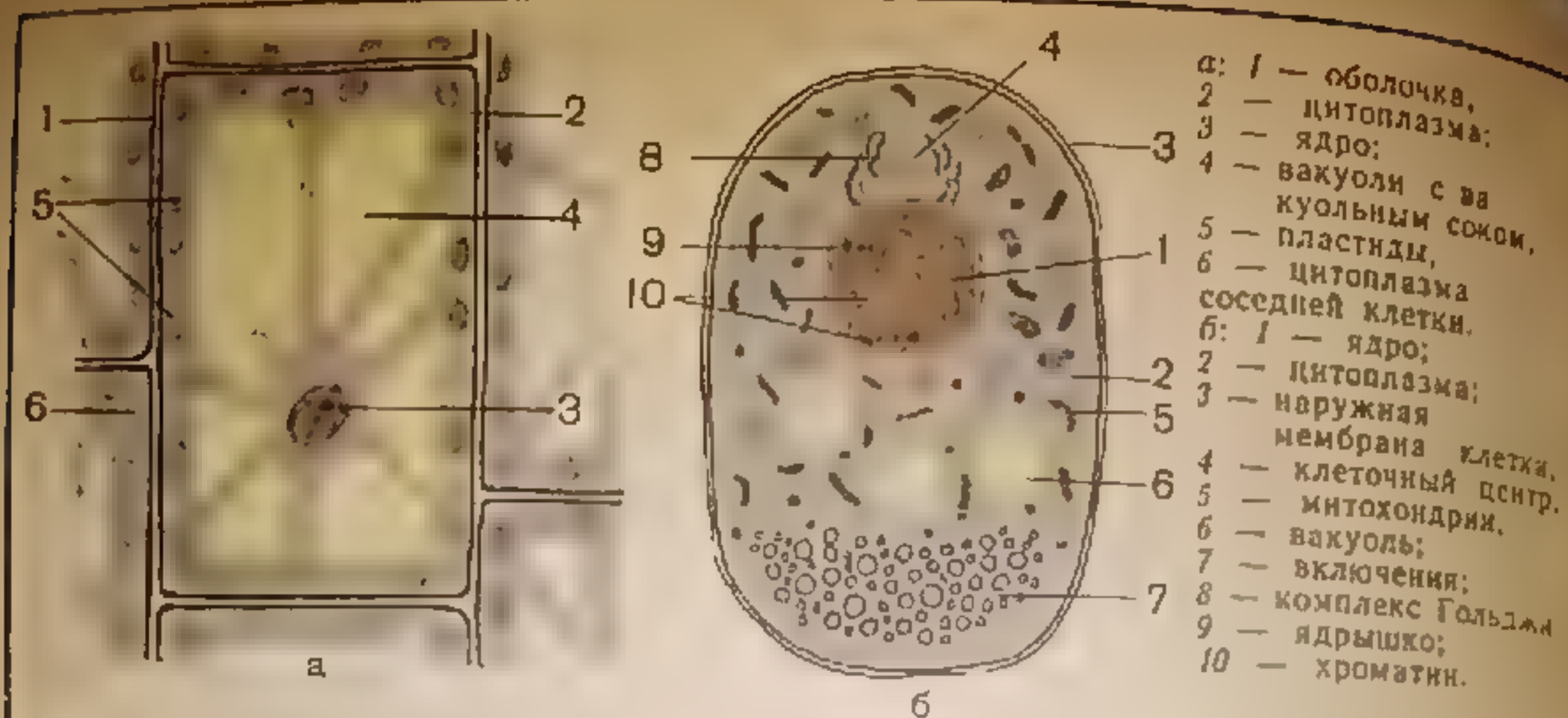


Рис. 48.

Схема строения растительной (а) и животной (б) клеток по данным светового микроскопа.

браженные на рисунке 48, по данным светового микроскопа, назовите основные органоиды и сравните строение растительной и животной клеток.

Но даже самого большого увеличения светового микроскопа оказалось недостаточно для того, чтобы увидеть и изучить тонкое строение органоидов цитоплазмы и детали строения ядра. Эта задача была выполнена только с помощью электронного микроскопа, и на рисунке 49 дана схема строения клетки, созданная на основе электронномикроскопического исследования. Рассмотрение тонкого (а точнее — ультратонкого) строения клетки на основе этой схемы мы начнем с клеточной оболочки, основу которой составляет наружная клеточная мембрана.

Наружная клеточная мембрана. С помощью светового микроскопа можно видеть только довольно толстую оболочку растительных клеток, клеток простейших, но не удастся обнаружить оболочку у большинства клеток многоклеточных животных.

Электронномикроскопические исследования позволили установить, что любая клетка растений и животных, бактерий и простейших имеет очень тонкий внешний покров, который называется *наружной мембраной клетки* («мембрана» — кожа, пленка, лат.). Те же оболочки, которые обычно видны в световой микроскоп, и в первую очередь толстые оболочки растительных клеток, состоящие у большинства растений из клетчатки, представляют собой лишь дополнительные образования на поверхности этой наружной мембраны.

Толщина наружной мембраны около 75 А, и, конечно, такая тонкая пленка не может быть видна под световым микроскопом. Но, несмотря на столь незначительную толщину, в состав наружной мембраны входят три слоя. На электронномикроскопической фотографии (рис. 50) показаны мембраны двух соседних клеток, и в каждой из мембран видны три слоя: два темных, один из которых расположен на наружной поверхности, граничащей с внешней средой, второй же обращен непосред-

рис. 49

Схема

Схема
Видно, что
мембрана

Рис. 49.

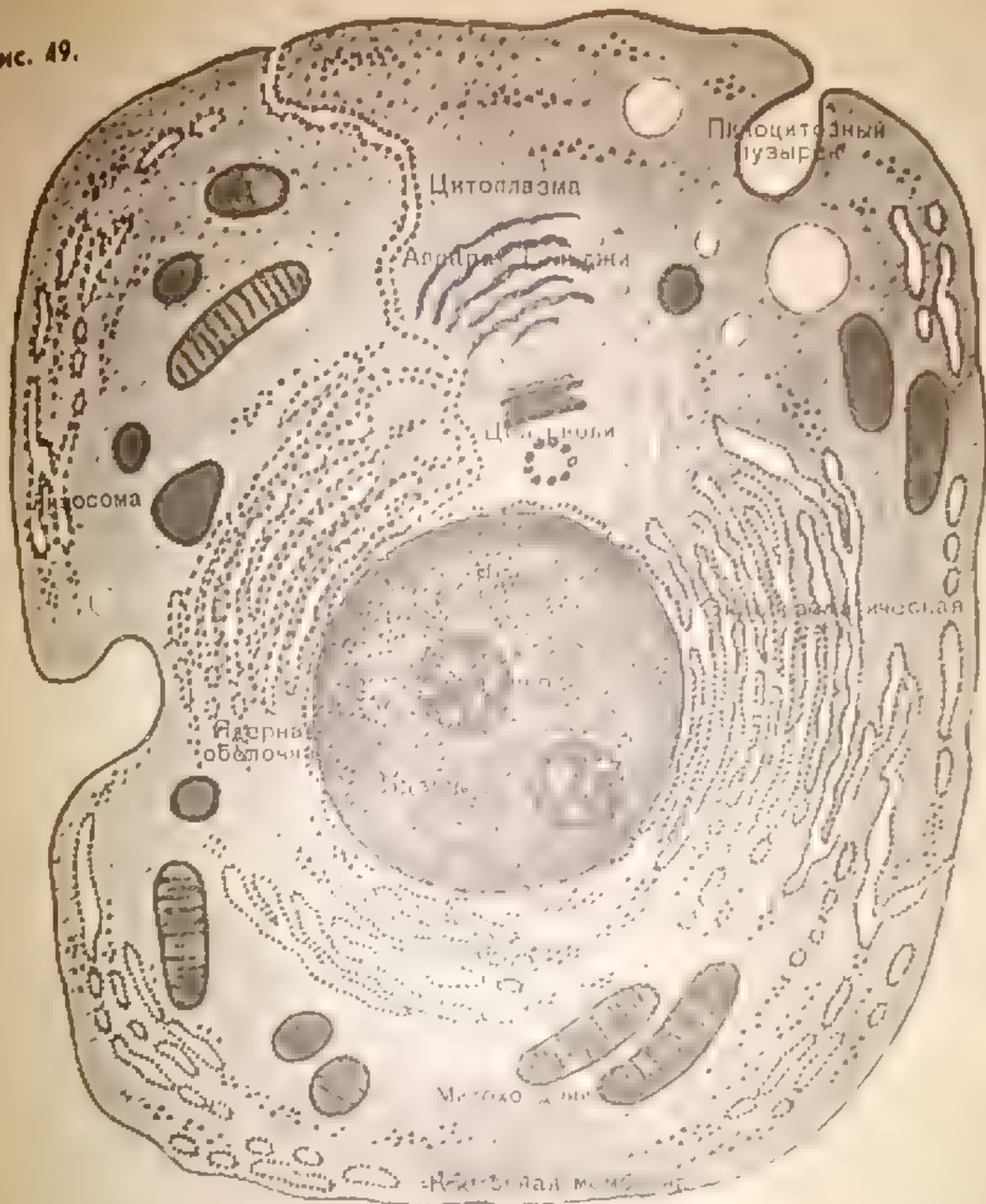


Схема строения клетки по данным электронного микроскопа



Схема пиноцитоза.

Видно, что пузырьки жидкости из окружающей среды захватываются наружной мембраной клетки и погружаются в цитоплазму.

венно к цитоплазме клетки, а третий, светлый слой расположен в середине, между двумя темными. Оба темных слоя мембраны состоят из молекул белков, а средний, светлый слой — из молекул жиров.

Наружная мембрана клетки пронизана многочисленными мельчайшими отверстиями — порами, через которые внутрь клетки из внешней среды могут проникать только ионы, вода и мелкие молекулы многих других веществ, находящихся во внешней среде, окружающей клетку. Через поры могут также выходить из клетки во внешнюю среду разнообразные вещества.

Но через мельчайшие поры наружной мембраны в клетку из окружающей среды не могут проникать довольно крупные частицы твердых веществ, например частички пищи, имеющие размеры в несколько микрон, а также крупные молекулы органических веществ, например белков. Проникновение относительно крупных твердых частиц в клетку осуществляется путем фагоцитоза («фагос» — пожирать, «цитос» — клетка, греч.), схема которого показана на рисунке 52. Здесь видно, что частичка пищи или какого-либо другого вещества сначала очень близко подходит к наружной клеточной мембране. Затем в месте контакта с такой частицей мембрана образует впячивание, направленное внутрь клетки. Это впячивание постепенно углубляется, и частичка, попавшая в него, погружается внутрь клетки, в ее цитоплазму.

У одноклеточных животных, или простейших (например, инфузорий, амёб), фагоцитоз выполняет функцию питания, и все твердые пищевые частички попадают внутрь их клетки именно таким путем. У многоклеточных животных и человека функцию фагоцитоза осуществляют только специализированные клетки, например белые кровяные тельца, которые поглощают бактерий, попавших в организм, пыль и другие твердые частички. Этим клеткам, способным к фагоцитозу, принадлежит функция защиты организма от разнообразных посторонних попавших в него частиц, например от патогенных бактерий. В процессах фагоцитоза наружная клеточная мембрана принимает активное участие; способность к фагоцитозу — одна из важных ее функций.

Через наружную мембрану в клетку попадают и капли жидкости, содержащие в растворенном виде разнообразные вещества. Процесс поглощения жидкости в виде мелких капель называется питье и потому был назван пиноцитозом («пино» — пить, «цитос» — клетка, греч.).

Схема пиноцитоза дана на рисунке 49, где видно, что процесс поглощения жидкости клеткой сходен с процессом фагоцитоза: вначале капля жидкости сближается с наружной клеточной мембраной, которая в этом месте образует многочисленные мелкие складочки. Затем образуется впячивание с попавшей в него каплей жидкости, которое постепенно углубляется и, наконец, полностью отделяется от поверхности, и капля жидкости оказывается в цитоплазме клетки. Пиноцитоз —

рис. 50.
Электронного
волно
Увеличен



рис. 51
Электронного
ток. Хоро
вающие п

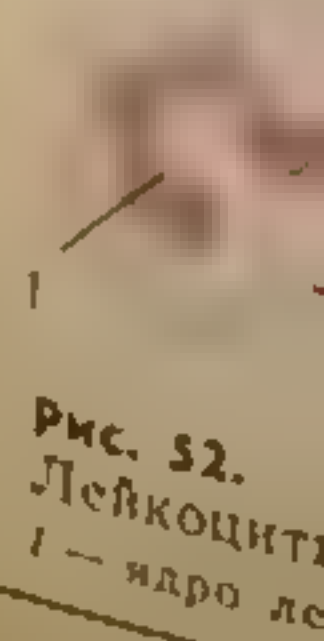


рис. 52.
Лейкоцит
1 — ядро ле



Рис. 50.

Электронномикроскопическая фотография мембран двух клеток нервного волокна. Видно трепетание створчатости каждой мембраны. Увеличение 400 000.

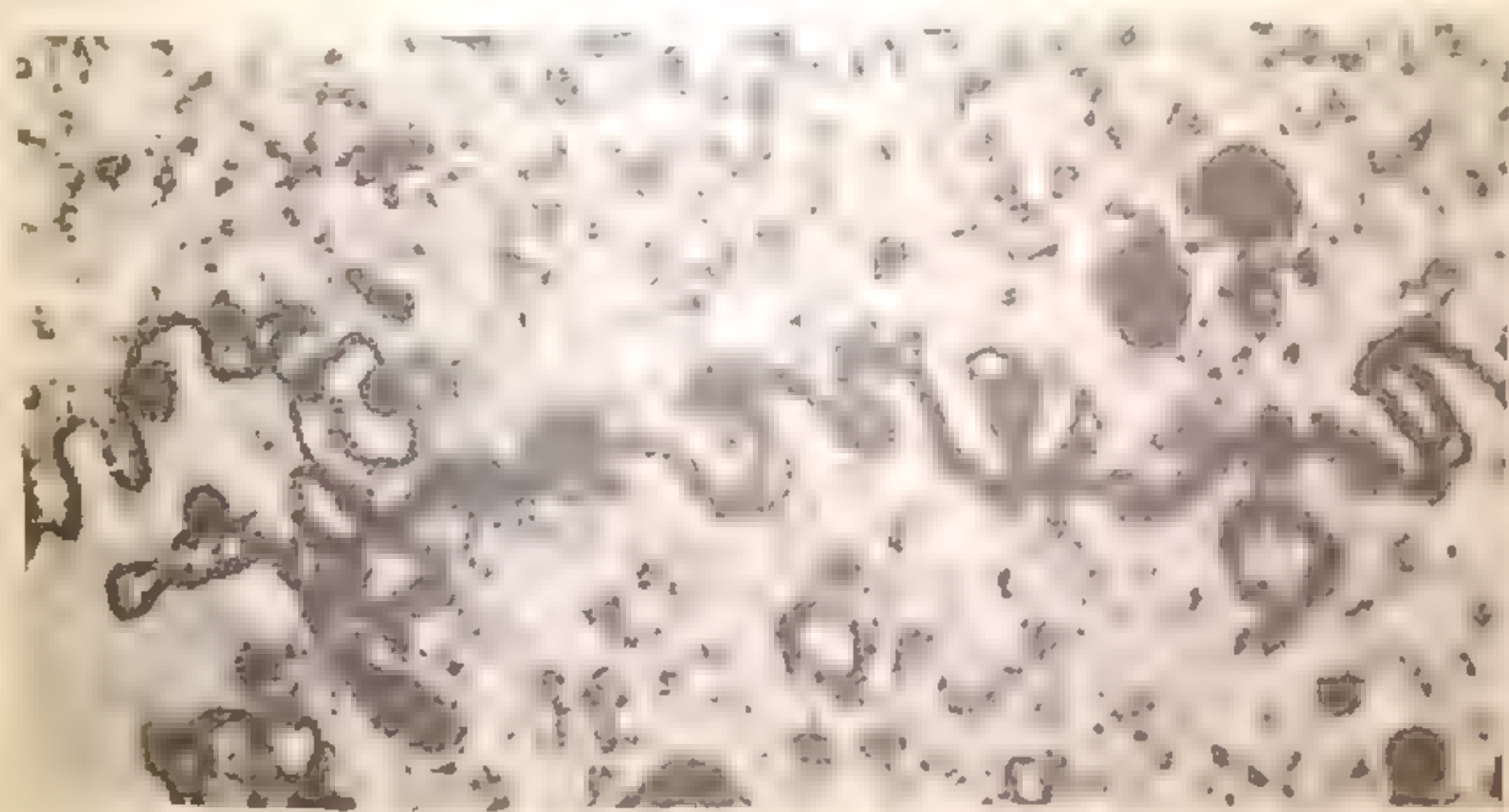


Рис. 51

Электронномикроскопическая фотография мембран двух соседних клеток. Хорошо видны складки и выросты наружной мембраны, увеличивающие прочность соединения клеток. Увеличение 30 000.



Рис. 52.

Лейкоциты человека, захватывающие бактерий:

1 — ядро лейкоцита; 2 — цитоплазма; 3 — бактерии (кокки).

еще одна важная функция наружной клеточной мембраны, при-
дающая клеткам всех животных и растений.

Итак, через наружную клеточную мембрану постоянно осу-
ществляется обмен веществ между клеткой и окружающей сре-
дой: благодаря наличию пор мембрана регулирует проникнове-
ние ионов и мелких молекул в клетку и из клетки, через нее в
клетку поступают и более крупные, твердые и растворенные в
воде вещества. Но, кроме этих важных функций, наружная мем-
брана выполняет и много других не менее важных биологиче-
ских функций. Она отграничивает цитоплазму и все органойды
клетки от внешней среды, причем легко и быстро восстанавли-
вает свою целостность после небольших повреждений. Соедине-
ние клеток в разнообразные ткани многоклеточных организмов
также осуществляется за счет наружной мембраны, которая
образует многочисленные складки и выросты, увеличивающие
прочность клеточных соединений. Они хорошо видны на микро-
фотографии (рис. 51).

Большинство клеток многоклеточных животных, например
эпителиальные клетки крови, печени, почек и др., имеют только
одну наружную мембрану, которая и представляет их единствен-
ный внешний покров. У других же клеток, например у отрост-
ков нервных клеток, у многих простейших, внешний покров со-
стоит из нескольких прилегающих друг к другу мембран, обра-
зующих прочную клеточную оболочку, которая обычно бывает
видна с помощью светового микроскопа. Отличительную черту
клеток растений, как уже упоминалось выше, представляет
толстая клеточная оболочка, состоящая из клетчатки, особого
органического вещества лектина или из других веществ. Эта
оболочка располагается над наружной цитоплазматической
мембраной, образуется за счет активной деятельности мембра-
ны и представляет собой прочный внешний покров раститель-
ных клеток.



1. Расскажите о форме, размерах клеток разных органов и тканей,
о связи формы с функциями клеток, воспользовавшись рисунком 47.



2. Сравните строение растительных и животных клеток, назовите их
органойды. 3. Каковы строение и основные функции наружной мем-
браны клетки?

28. Цитоплазма и ее органойды

Цитоплазма. Цитоплазма (рис. 49), отграниченная от внеш-
ней среды наружной мембраной, заполняет всю клетку, и в ней
располагаются различные органойды и ядро. Это внутренняя по-
лужидкая среда клетки, которая содержит большое количество
воды, а из органических веществ в ней преобладают белки. На
электрономикроскопических фотографиях основная масса ци-
топлазмы имеет мелкозернистое строение. Во многих клетках,
например в клетках эпителия, в ней видны тончайшие нити, рас-
полагающиеся во всех участках клетки и выполняющие роль

опорных (с
Цитоплазма
клеточные
в одно цело
взаимодейс
Митохонд

(«митос»
он» — зерн
это тельца
но от 0,2
образные
округлые,
видные, н
Располага
цитоплазм
во их в ра
варьироват
более. Под
копитающи

Митохонд
мощью кот
клетке, со
ском иссле
довольно с
ет схему с
скопическо
этого орга
внутренней
каких скл
образует м
реннюю п
называютс
У большин
сты распо
сты могут
тохондри
легают др
остается м
козернист

Наружн
кое же тр
В их соста
мембранах
большое к
тов митох
осуществл
ства, кото
сокращени
энергии, к
происходя

опорных (скелетных) структур. Цитоплазма связывает все клеточные органонды и ядро в одно целое и обеспечивает их взаимодействие друг с другом.

Митохондрии. Митохондрии («митос» — нить, «хондрион» — зерно, гранула, *греч.*) — это тельца размером примерно от 0,2 до 7 мкм, разнообразные по своей форме: округлые, овальные, палочковидные, нитевидные (рис. 42). Располагаются митохондрии в цитоплазме клеток, и количество их в разных клетках может варьировать от 2—3 до 1000 и более. Подсчитано, например, в гепатоцитах содержится около 1000 митохондрий.

Митохондрии хорошо изучены с помощью электронного микроскопа, с помощью которого можно рассмотреть форму, расположение в клетке, сосчитать их количество. При электронномикроскопическом исследовании обнаружено, что митохондрия имеет довольно сложное строение. На рис. 53, который представляет схему строения митохондрии, на электронномикроскопической фотографии (рис. 54) видно, что внешний покров этого органонда представлен двумя мембранами: наружной и внутренней. Наружная мембрана гладкая, она не образует никаких складок и выростов. Внутренняя мембрана, наоборот, образует многочисленные складки, которые направлены во внутреннюю полость митохондрии. Складки внутренней мембраны называются кристами («криста» — гребень, вырост, *лат.*). У большинства клеток во внутренней полости митохондрии кристы располагаются в поперечном направлении. Некоторые кристы могут разветвляться, что видно на рисунке 53. В одной митохондрии обычно бывает множество крист, и они плотно прилегают друг к другу, а незначительное пространство, которое остается между ними, заполнено полужидким веществом с мелкозернистым строением.

Наружная и внутренняя мембраны митохондрий имеют такое же трехслойное строение, как и наружная мембрана клетки. В их состав входят белки и жиры. На наружной и внутренней мембранах митохондрий и особенно на кристах располагается большое количество разнообразных ферментов. К числу ферментов митохондрий относятся прежде всего те, с помощью которых осуществляется дыхание клеток, а также синтез особого вещества, которое называется аденозинтрифосфорной кислотой или, сокращенно, АТФ. Это вещество обладает большими запасами энергии, которая освобождается при распаде АТФ, постоянно происходящем в митохондриях под влиянием ферментов. Энер-

Рис. 53.

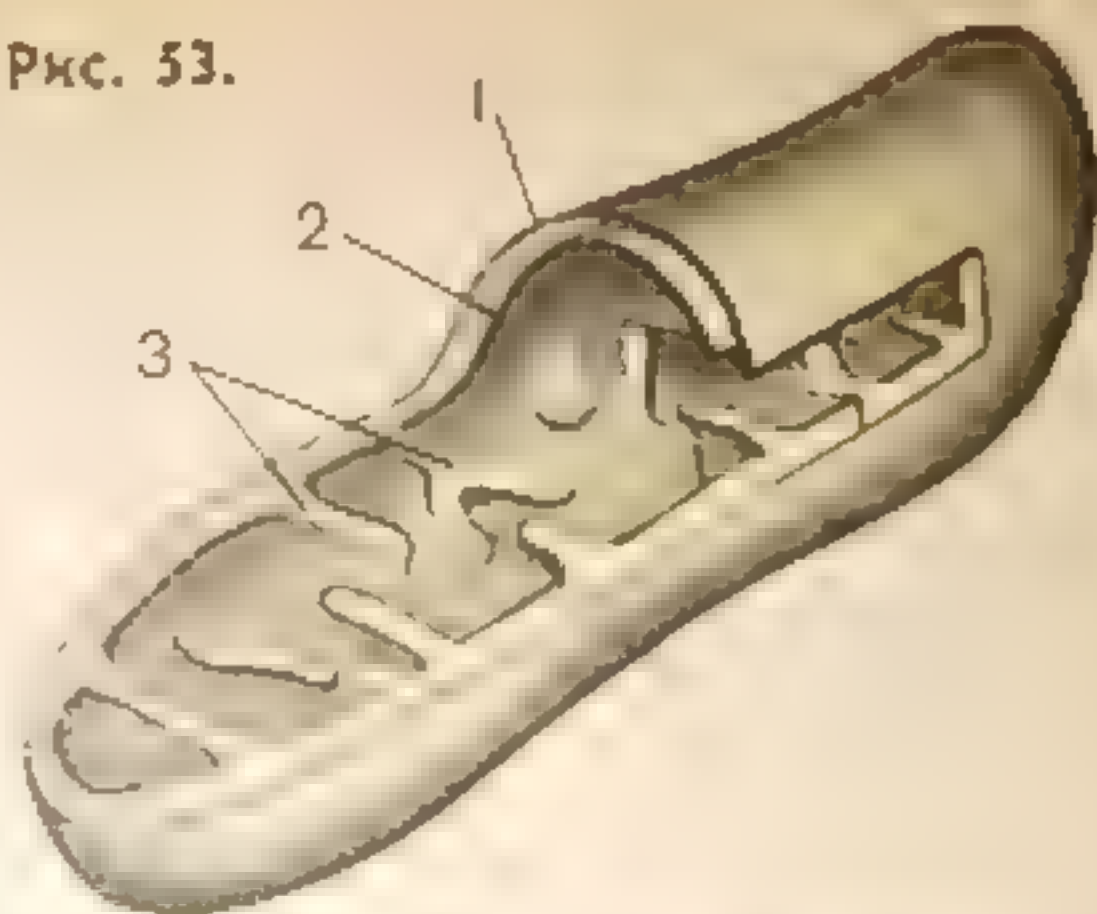


Схема строения митохондрии по данным электронного микроскопа. 1 — наружная мембрана, 2 — внутренняя мембрана, 3 — кристы.

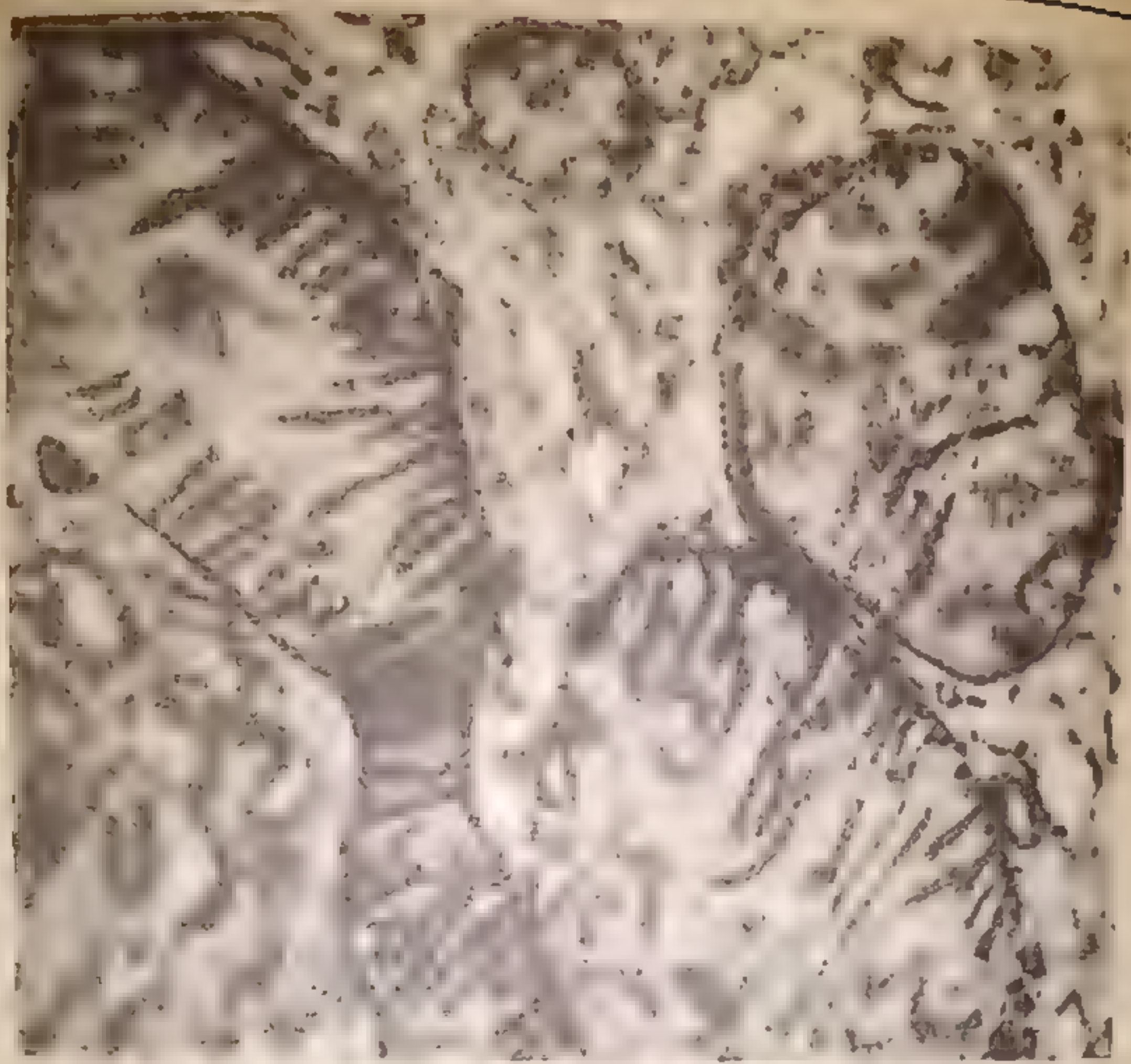


Рис. 54.

Электронномикроскопическая фотография митохондрий. Видны наружная и внутренняя мембраны, а также кристы. Увеличение 40 000.

гия используется клетками при синтезе разнообразных веществ, при выработке тепла, нужного для поддержания температуры тела, при движении и других проявлениях жизнедеятельности.

АТФ синтезируется в митохондриях всех клеток, всех организмов и представляет собой универсальный источник энергии. Поэтому митохондрии образно называются силовыми или энергетическими станциями клетки; они обязательный органоид каждой растительной и животной клетки.

Пластиды. Пластиды — это органоиды растительных клеток, и наличие пластид отличает клетки растений от клеток животных. Пластиды располагаются в цитоплазме. Различается три основных типа пластид: 1) зеленые — хлоропласты; 2) окрашенные в красный, оранжевый и другие цвета — хромопласты и 3) бесцветные — лейкопласты.

Хлоропласты находятся в клетках листьев и других зеленых частях растений. Характерный для хлоропластов зеленый цвет

зависит от
рофилла.
использов
энергии
ческих. П
ческих не
хлоропла
Хромо

листья в
оттенков
Лейко

ний: в ст
связаны д
при созро
осеннюю хл
сты могут
позеленен

Все тр
пом, так к
Например

Тонкое
ного микр
стов. У бо
(рис. 55).
Каждая и
обладает
ки, и в со

На ми
дится бол
представля
сложенный
речном се
около 1 м
а в одном
которые соед
ленный пиг
частях хл
тосинтез.

Лизосо
лагающие
лизосомы
плотной м
которые сл
щие в кле
ментов наз
го органо
много, нап
можно обр
зосомы обн
время они

зависит от особого находящегося в них зеленого пигмента хлорофилла. Благодаря хлорофиллу зеленые растения способны использовать световую энергию Солнца и за счет солнечной энергии синтезировать органические вещества из неорганических. Процесс созидания органических веществ из неорганических носит название фотосинтеза. Он происходит только в хлоропластах.

Хромoplastы окрашивают венчики цветков, плоды, овощи и листья в разные цвета: от желтого и оранжевого до различных оттенков красного цвета.

Лейкопласты содержатся в клетках бесцветных частей растений: в стеблях, корнях, клубнях. Все эти типы пластид тесно связаны друг с другом возможностью взаимного перехода. Так, при созревании плодов или при изменении окраски листьев осенью хлоропласты превращаются в хромопласты, а лейкопласты могут свободно превращаться в хлоропласты, например при позеленении клубней картофеля.

Все три типа пластид хорошо видны под световым микроскопом, так как размеры их обычно равны нескольким микрометрам. Например, хлоропласты могут быть 4—6 мкм и больше.

Тонкое строение пластид было изучено с помощью электронного микроскопа. Мы рассмотрим подробно строение хлоропластов. У большинства растений хлоропласты имеют форму дисков (рис. 55), отграниченных от цитоплазмы двумя мембранами. Каждая из мембран хлоропласта, т. е. наружная и внутренняя, обладает таким же строением, как и наружная мембрана клетки, и в состав обеих мембран входит три слоя.

На микрофотографии видно, что внутри хлоропласта находится большое количество прямоугольных гран. Каждая грана представляет собой скопление, или группу, тончайших пластинок, сложенных друг с другом наподобие столбика монет. В поперечном сечении они выглядят округлыми, диаметр одной грани около 1 мкм. В состав одной грани входит около 10 пластинок, а в одном хлоропласте содержится несколько десятков гран, которые соединены между собой также тонкими пластинками. Зеленый пигмент хлорофилл находится только в гранах, в других частях хлоропласта его нет, и именно в гранах происходит фотосинтез.

Лизосомы. Лизосомы — небольшие округлые тельца, располагающиеся во всех частях клетки (рис. 56). Диаметр одной лизосомы около 1 мкм. От цитоплазмы лизосомы отграничены плотной мембраной. Внутри них сконцентрированы ферменты, которые способны расщеплять все пищевые вещества, поступающие в клетку. Расщепление пищевых веществ с помощью ферментов называется лизисом, откуда и происходит название самого органелла — лизосома. В одной клетке лизосом может быть много, например несколько десятков, и совокупность лизосом можно образно назвать пищеварительной системой клетки. Лизосомы обнаружены во многих клетках животных, и в последнее время они найдены также и в клетках растений.

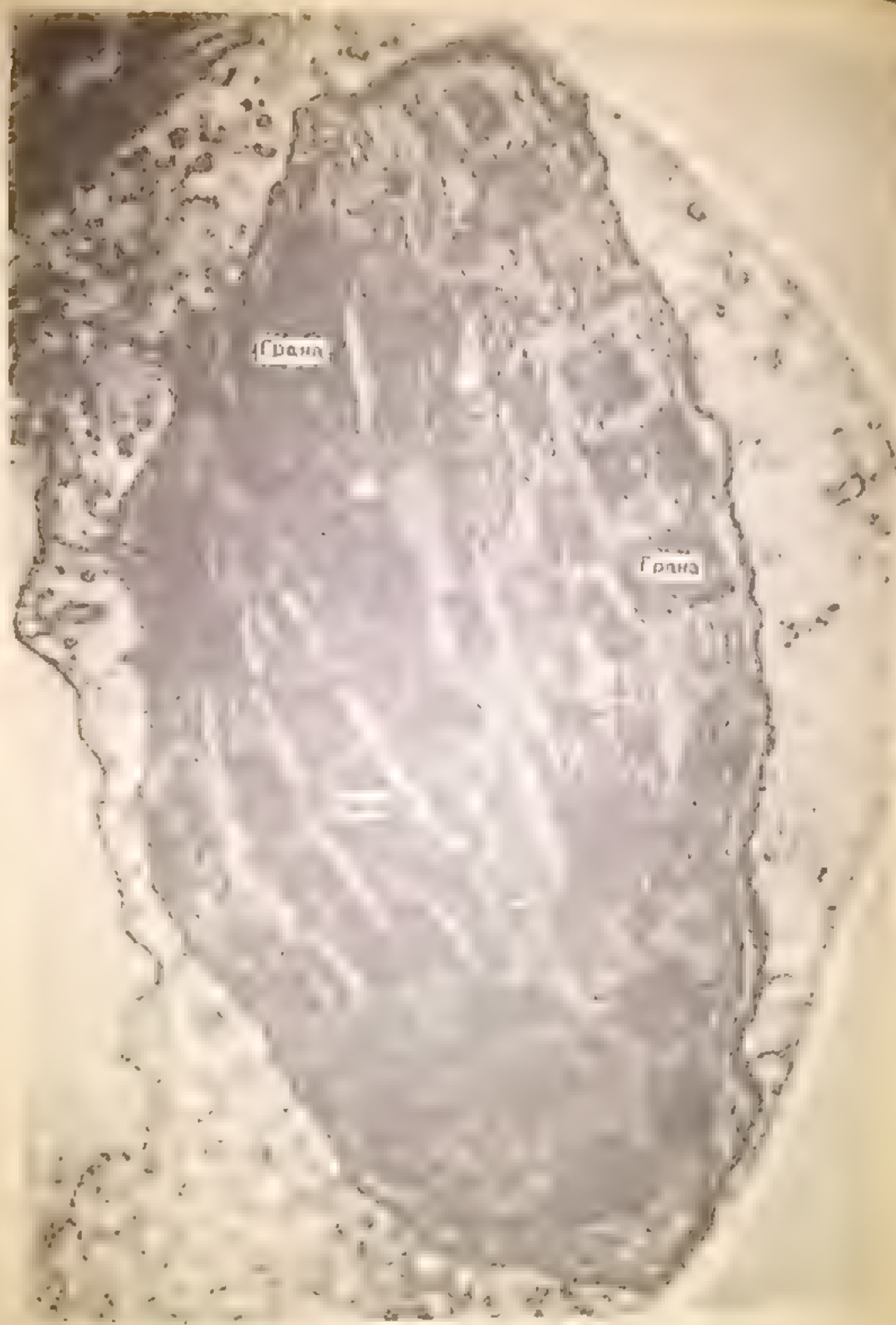


Рис. 55.
 Электронномикроскопическая фотография хлоропласта.
 Увеличение 40 000.

рис. 5
 Личос
 скопи
 Увели

рис. 5
 Элект
 фото
 эндо
 цитол
 Вядн
 нде
 ской
 дрии
 обес
 плазм
 Увели

Рис. 56.
Лизосома. Электронномикро-
скопическая фотография.
Увеличение 63 000.



Рис. 57.
Электронномикроскопическая
фотография ядра и участка
эндоплазматической сети, рас-
положенной в цитоплазме.
Видны каналы и более кр-
ные полости эндоплазматиче-
ской сети, овальные митохон-
дрии. Видны также ядерная
оболочка с порами, ядерная
плазма и ядрышко.
Увеличение 20 000



Эндоплазматическая сеть. Этот органоид был открыт только при электронномикроскопическом исследовании клеток. Эндоплазматическая сеть представляет собой сложную систему каналов и полостей размером до 500 Å и более (рис. 57), которые соединяются между собой и образуют сложную ветвящуюся сеть, пронизывающую всю цитоплазму клетки.

Каналы и полости эндоплазматической сети ограничены мембранами, которые имеют такое же строение, как и наружная мембрана клетки, т. е. каждая из них состоит из трех слоев.

Различается два типа эндоплазматической сети: шероховатая и гладкая. На мембранах первого типа располагается множество мелких округлых тел — рибосом (рис. 58), которые и придают мембранам каналов и полостей шероховатый вид. Мембраны второго типа, т. е. гладкой эндоплазматической сети, не несут рибосом на своей поверхности.

О функциях этого органоида известно следующее: шероховатая эндоплазматическая сеть принимает активное участие в синтезе белков. На мембранах гладкой эндоплазматической сети происходит синтез жиров и полисахаридов. Эти продукты синтеза накапливаются в каналах и полостях, а затем транспортируются к различным органоидам клетки, где они и потребляются. Кроме того, в многочисленные каналы и полости эндоплазматической сети постоянно поступают и транспортируются в различные участки клетки вещества из окружающей среды. Поступают в нее и вещества, выходящие из клетки.

Следовательно, *эндоплазматическая сеть — это клеточный органоид, который принимает активное участие не только в синтезе белков, полисахаридов и жиров, но и в транспортировании и накоплении различных веществ в клетке.*

Эндоплазматическая сеть обнаружена во всех клетках животных и растений, всеобщее распространение этого органоида еще раз свидетельствует о важности его функций, которые сейчас интенсивно изучаются.

Рибосомы. Так же как эндоплазматическая сеть, рибосомы были открыты с помощью электронного микроскопа, поскольку эти органоиды клетки обладают исключительно мелкими размерами. Рибосомы — это тельца округлой формы диаметром 150—200 Å. На электронномикроскопической фотографии видно, что в клетке очень много рибосом (рис. 58) и что большинство из них располагается на мембранах эндоплазматической сети. Кроме того, много рибосом свободно располагается в цитоплазме, а также в ядре клетки. В состав рибосом входят белок и рибонуклеиновая кислота (РНК).

Рибосомы обнаружены во всех клетках многоклеточных животных и растений, а также в клетках одноклеточных организмов. Это показывает, что рибосомы — обязательный орган каждой клетки, выполняющий важнейшую биологическую функцию: на рибосомах синтезируется белок. Рибосомы — именно тот органоид клетки, где происходит синтез белковых молекул, т. е. сборка их из молекул аминокислот, имеющихся в цитоплазме



Рис. 58.

Шероховатые тельца
фотографированы

и ядре ка
шую функ
конвейера
Белки,
налах и п
руются к
ная масса
ных на ме
два орган
рат синте
Компл
названный
торий впе
и обознача
обнаружен
мов. Фе

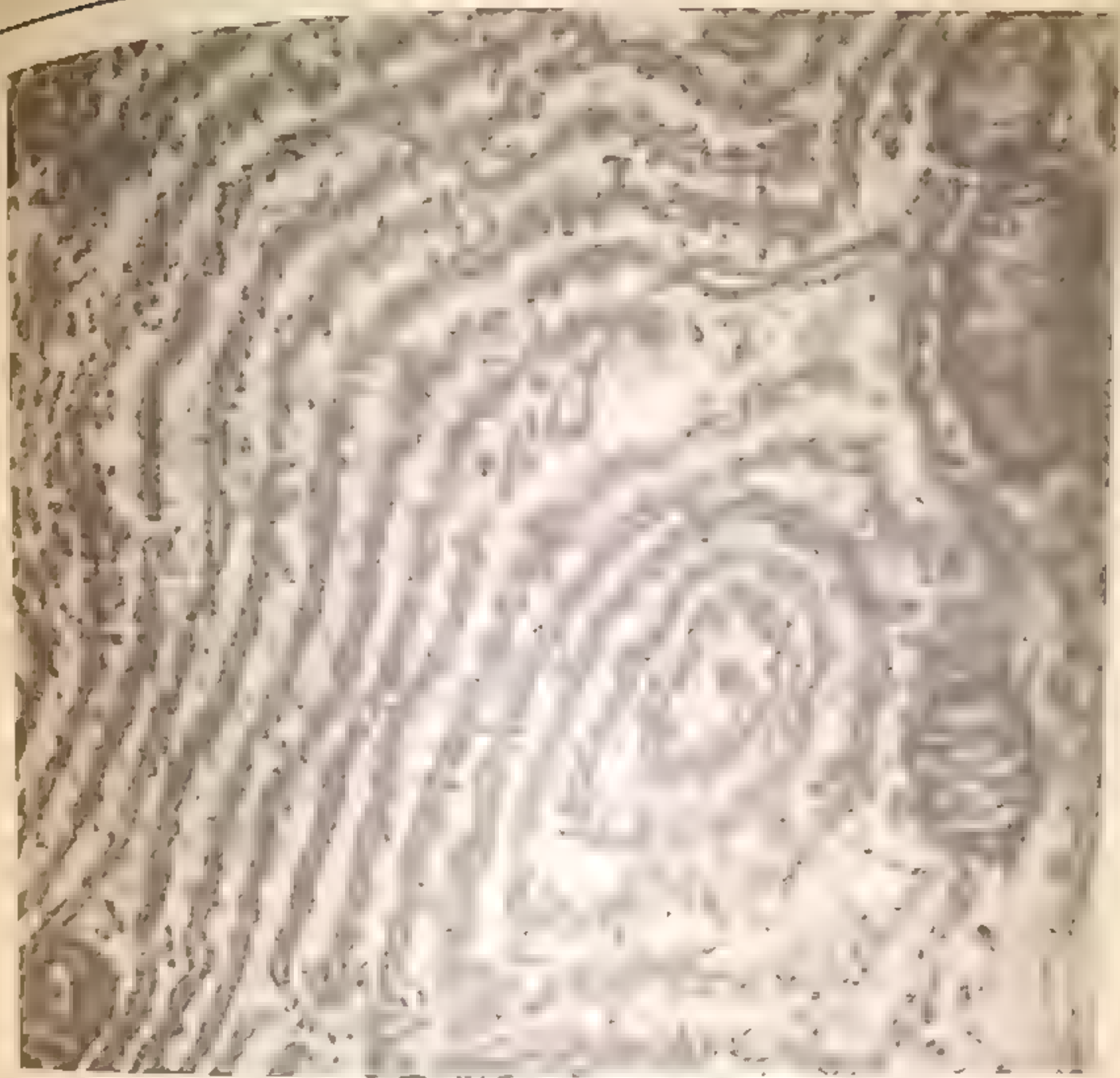


Рис. 58.

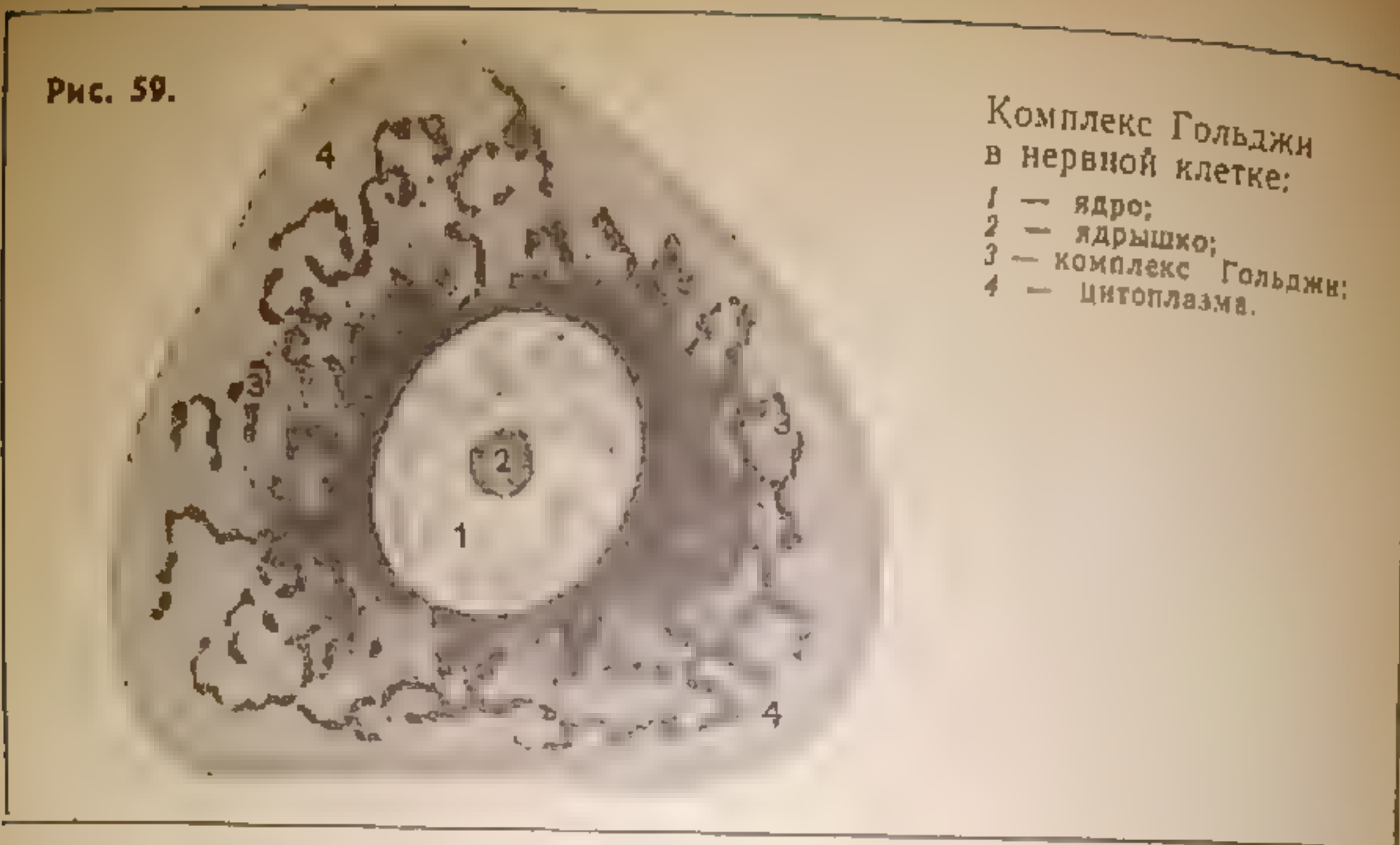
Шероховатая эндоплазматическая сеть с рибосомами (округлые темные тельца) на поверхности ее мембран. Электронномикроскопическая фотография Увеличение 70 000

и ядре каждой клетки. Поскольку рибосомы выполняют важнейшую функцию синтеза белка, их можно называть «сборочными конвейерами» клетки.

Белки, синтезированные на рибосомах, накапливаются в каналах и полостях эндоплазматической сети, а затем транспортируются к тем органоидам клетки, где они потребляются. Основная масса белков синтезируется на рибосомах, сконцентрированных на мембранах шероховатой эндоплазматической сети, и эти органоида, как отмечено выше, представляют единый аппарат синтеза и транспортировки образующихся в клетке белков.

Комплекс Гольджи. Комплекс Гольджи — органويد клетки, названный так по имени итальянского ученого К. Гольджи, который впервые увидел его в цитоплазме нервных клеток (1898) и обозначил как сетчатый аппарат. Сейчас комплекс Гольджи обнаружен во всех клетках растительных и животных организмов. Форма и размеры его сильно варьируют. Во многих клет-

Рис. 59.



Комплекс Гольджи
в нервной клетке:

- 1 — ядро;
- 2 — ядрышко;
- 3 — комплекс Гольджи;
- 4 — цитоплазма.

ках, например в нервных, он имеет форму сложной сети, расположенной вокруг ядра (рис 59), в клетках растений, простейших комплекс Гольджи представлен отдельными тельцами серповидной или палочковидной формы. Электронномикроскопическое строение этого органоида одинаково в клетках растительных и животных организмов, несмотря на разнообразие его формы. В комплекс Гольджи входят три основных структурных компонента: 1) крупные полости, расположенные группами (по 5—8); 2) сложная система трубочек, отходящих от полостей; 3) крупные и мелкие пузырьки, расположенные на концах трубочек. Все эти элементы составляют единый комплекс и ограничены мембранами такого же строения, как и наружная мембрана клетки.

Комплекс Гольджи выполняет много важных биологических функций: к нему транспортируются по каналам эндоплазматической сети продукты синтетической деятельности клетки, а также различные вещества, поступающие в клетку из внешней среды. Это в первую очередь белки, синтезирующиеся в клетке, секреты белковой природы, вырабатываемые во многих клетках, желток, образующийся в яйцевых клетках при их созревании, полисахариды и жиры. Все эти вещества сначала накапливаются в элементах комплекса Гольджи, а затем в виде капелек или зерен поступают в цитоплазму и либо используются в самой клетке в процессе ее жизнедеятельности, либо выводятся из нее во внешнюю среду.

Клеточный центр. Клеточный центр состоит из двух очень маленьких телец, каждое из которых имеет размеры меньше 1 мкм, и особого плотного участка цитоплазмы (рис. 60). Тельца клеточного центра называются *центриолями*, а уплотненный участок цитоплазмы, в центре которого они находятся, — *центросферой*.

Электронномикроскопические исследования показали, что каждая центриоль имеет форму цилиндра, стенка которого сос-

тоит из
бочек.

Кле
распол
Такое
го цен
но для
живот
принад
делени

Орг
значен
сятся
связан
ками
функци
ганоид
нички

рий и
снабже
осталь
голяю
сти
дур
жидко
клетк
ных, н
патри

Вкл
к числу
то исче
хорошо
холодн
на, оче
клетки
верна
ках за
количес
на, в к
века пр
ийденн
богаты
ти поли
которые
картофе

? 1.
2.
ше
и
ко

тоит из 9 пар мельчайших трубочек.

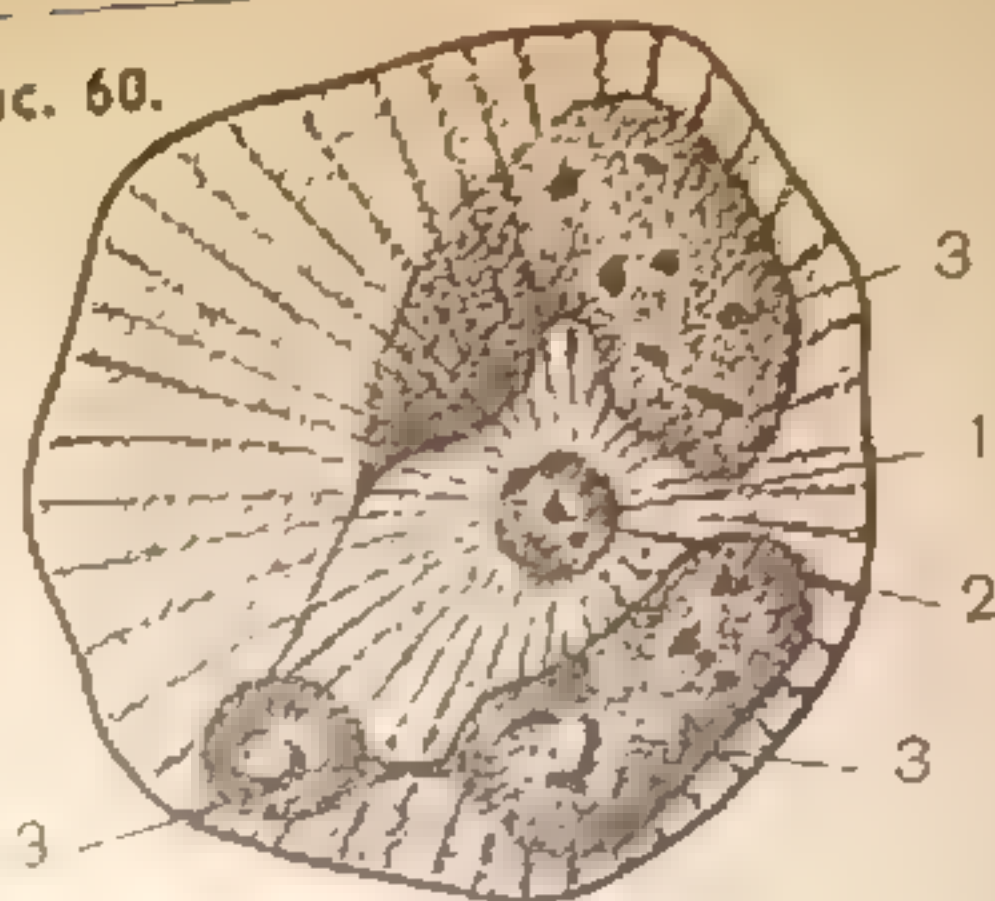
Клеточный центр обычно располагается вблизи ядра. Такое расположение клеточного центра особенно характерно для клеток многоклеточных животных. Клеточному центру принадлежит важная роль при делении клетки.

Органоиды специального значения. К этой группе относятся те органоиды, которые связаны с выполнением клетками каких-либо специальных функций. Примером таких органоидов могут служить рес-

нички и жгутики, выполняющие функцию движения у инфузорий и жгутиконосцев среди простейших. Ресничками также снабжены многие эпителиальные клетки многоклеточных животных, например эпителий дыхательных путей, где реснички выполняют функцию движения пылинок. В мышечных клетках животных и человека содержатся тончайшие нити — миофибриллы, в состав которых осуществляется сокращение мышц. У растений, во многих клетках многоклеточных организмов, особенно в эпителиальных, находятся очень тонкие опорные нити, выполняющие роль внутриклеточного скелета.

Включения. В отличие от органоидов включения принадлежат к числу непостоянных клеточных структур. Они то появляются, то исчезают в процессе жизнедеятельности клетки. Включения хорошо видны в световой микроскоп в форме плотных зерен, жидких капель, вакуолей и кристаллов (рис. 48). Многие из этих включений представляют собой запасные питательные вещества, которые постоянно используются клеткой. Это капельки жира, зерна крахмала и гликогена, а также белка. В некоторых клетках запасные питательные вещества откладываются в больших количествах. Так, в клетках печени накапливается много гликогена, в клетках подкожной жировой клетчатки животных и человека происходит накопление жира. Отложений белка много в яйцевых клетках различных животных. Клетки растений также богаты запасными питательными веществами: в них можно найти полисахариды (крахмал и др.), жиры и белковые включения, которых много в семенах, клубнях. Например, в клетках клубней картофеля накапливается огромное количество крахмала.

Рис. 60.



Клеточный центр

1 — клеточная мембрана, 2 — цитоплазма, 3 — ядро.

?

1. Расскажите о строении митохондрий, об их функциях в клетке.
2. Каково строение хлоропластов? 3. В каких органоидах клетки осуществляется синтез белков? Где располагаются эти органоиды в клетке и каково их строение? 4. Расскажите кратко о строении и функциях комплекса Гольджи, лизосом.

29. Ядро и его структурные компоненты

Ядро — постоянный компонент всех клеток многоклеточных растений и животных, а также простейших и одноклеточных взрослых. Большинство клеток имеет одно ядро. Однако есть клетки с двумя, тремя и даже с несколькими десятками сотнями ядер. Такие клетки называются многоядерными и встречаются, например, среди одноклеточных организмов, а также в печени и костном мозге позвоночных животных.

Форма ядра и часто его размеры зависят от формы клетки. Обычно в шаровидных клетках ядро имеет округлую форму, а в клетках, вытянутых в длину, ядро также удлиненной формы (рис. 47).

Различают два состояния ядра: делящееся и неделящееся. Мы рассмотрим особенности строения и функции неделящихся ядер.

В них различают ядерную оболочку, ядерный сок, или кариоплазму («карион» — ядро, *греч.*), хроматин и ядрышки (рис. 49). Хромосомы формируются только в делящихся ядрах, но иногда они видны и в промежутке между делениями.

Ядерная оболочка. От цитоплазмы ядро отделено ядерной оболочкой, которая хорошо видна в световой микроскоп в форме контура, ограничивающего ядро (рис. 48). На электронномикроскопической фотографии (рис. 57) хорошо видно, что ядерная оболочка состоит из двух мембран: наружной и внутренней. Каждая из мембран имеет типичное трехслойное строение, такое же, как наружная цитоплазматическая мембрана и мембраны других органоидов.

Ядерная оболочка не сплошная: в ней имеются многочисленные поры, которые настолько малы, что видны лишь с помощью электронного микроскопа. Диаметр пор около 300—500 Å. Через поры осуществляется обмен веществ между цитоплазмой и ядром. Наружная мембрана ядерной оболочки тесно связана с эндоплазматической сетью. Во время деления ядра в большинстве клеток ядерная оболочка разрушается.

Ядерный сок (кариоплазма). Ядерный сок — это вещество полужидкой консистенции, которое находится под ядерной оболочкой и заполняет всю полость ядра. В ядерном соке располагаются ядрышки и хроматин, а в последнее время с помощью электронного микроскопа в нем обнаружены рибосомы.

Хроматин. В неделящихся ядрах хроматин часто бывает виден в форме отдельных глыбок небольших размеров или нитей (рис. 48). Эти хроматиновые структуры содержат дезоксирибонуклеиновую кислоту (ДНК) и белок.

Хроматин — это тот материал, из которого образуются хромосомы при делении ядер. В делящихся ядрах ДНК сосредоточена именно в хромосомах. ДНК — важнейшая часть ядра. В этом веществе заключена наследственная информация, передающаяся из поколения в поколение у каждого вида организмов.

Ядрышко. Ядрышки, расположенные в центре клеток, а также их размеры могут быть разными. Ядрышко, но их м. в ядрах дочерних кл. в состав ядрышка. Ядрышко заключается в рибосом, которые, что рибосомы, ядерной сети и сво. Ядрышке. Рибосомы без белков. Взаимодействие яд. находятся в тесней. удалять ядро, т. ядро не может. в короткого време. действие ядра, цитопл. того. Любое поврежд. клетки. В ней нет стру. жительному самостоя. элементарная целостн.

1. Каково строение кариоплазмы? 3. Как ядро заключена нас.

30. Одноклеточные

В отличие от клет. разнообразных с. простейшие, однокле. различных черт с. из одной клетки. именно представляе. простейшие и од. одноклеточные и од. имеют типичное. ядрами, известные. формы, относ. имеют хорошо п. жгутиков. живут.

Ядрышко. Ядрышко представляет собой плотное округлое тельце, располагающееся в ядерном соке (рис. 49). В ядрах разных клеток, а также и в ядре одной и той же клетки в разные моменты ее жизнедеятельности количество ядрышек, их форма и размеры могут быть разными. Часто в ядрах содержится лишь 1—2 ядрышка, но их может быть 5—7 и более. Ядрышки имеются только в неделящихся ядрах; во время деления они исчезают, а в ядрах дочерних клеток образуются заново.

В состав ядрышка входят РНК и белки. Важнейшая функция ядрышка заключается в том, что в нем происходит формирование рибосом, которые затем выходят из ядра в цитоплазму. Это значит, что рибосомы, располагающиеся на мембранах эндоплазматической сети и свободно лежащие в цитоплазме, образуются в ядрышке. Рибосомы, находящиеся в ядрышке, осуществляют синтез белков.

Взаимодействие ядра и цитоплазмы. Цитоплазма и ядро клетки находятся в теснейшей взаимосвязи друг с другом. Если из клетки удалить ядро, то цитоплазма неизбежно погибнет. В свою очередь ядро не может существовать без цитоплазмы даже в течение короткого времени. Для жизни клетки необходимо взаимодействие ядра, цитоплазмы и всех ее органоидов как единого целого. Любое повреждение вызывает в конечном итоге гибель клетки. В ней нет структурных комп. нентов, способных к продолжительному самостоятельному существованию. Клетка — это элементарная целостная живая система.

- ? 1. Каково строение оболочки ядра? 2. Что такое ядерный сок, или кариоплазма? 3. Каковы роль и состав ядрышка? 4. В каком веществе ядра заключена наследственная информация?

30. Одноклеточные организмы

В отличие от клеток многоклеточных организмов, образующих разнообразные органы и ткани, одноклеточные организмы (простейшие, одноклеточные водоросли, бактерии) имеют много своеобразных черт строения. Прежде всего, тело их состоит лишь из одной клетки. А любой одноклеточный организм одновременно представляет собой и клетку, и целый организм, ведущий самостоятельное существование.

Простейшие и одноклеточные водоросли. Простейшие, или одноклеточные, животные (амебы, эвглены, инфузории и др.), а также одноклеточные водоросли (хламидомонада, хлорелла и др.) имеют типичное клеточное строение: они обладают ядром, ограниченным ядерной оболочкой, у них хорошо развиты и все органоиды, известные для клеток многоклеточных организмов. Многие формы, относящиеся к этим двум группам одноклеточных, имеют хорошо развитые органоиды движения в виде ресничек и жгутиков, имеют ротовое отверстие, через которое пища проходит внутрь клетки (вспомните, как питается инфузория

туфелька), и другие органонды, обеспечивающие все процессы жизнедеятельности этих организмов. Все эти приспособления обеспечивают самостоятельное существование простейших в разнообразных условиях внешней среды.

Бактерии. Бактериальные клетки характеризуются прежде всего наиболее мелкими размерами. Некоторые бактерии с округлой формой тела достигают лишь 0,2 мкм в диаметре.

По ряду признаков строения бактериальные клетки отличаются от клеток простейших и многоклеточных организмов. К таким признакам относится в первую очередь отсутствие типичного ядра, которое у бактерий лишено ядерной оболочки. Ядерные элементы, содержащие ДНК, располагаются непосредственно в цитоплазме и часто имеют неправильную разветвленную форму. У бактерий органонды цитоплазмы, например, эндоплазматическая сеть, митохондрии имеют более простое строение, чем в клетках других организмов.

Все это служит доказательством более простого строения бактериальных клеток по сравнению с простейшими и клетками многоклеточных организмов. Несмотря на сравнительную простоту строения, бактерии — организмы, находящиеся на клеточном уровне организации. Они, подобно простейшим и одноклеточным водорослям, представляют обширную группу клеток-организмов, ведущих самостоятельное существование и приспособленных к разнообразным средам обитания.

- ? 1. Каковы основные особенности строения клеток простейших? 2. Укажите основные отличия в строении бактериальных клеток от клеток других организмов.

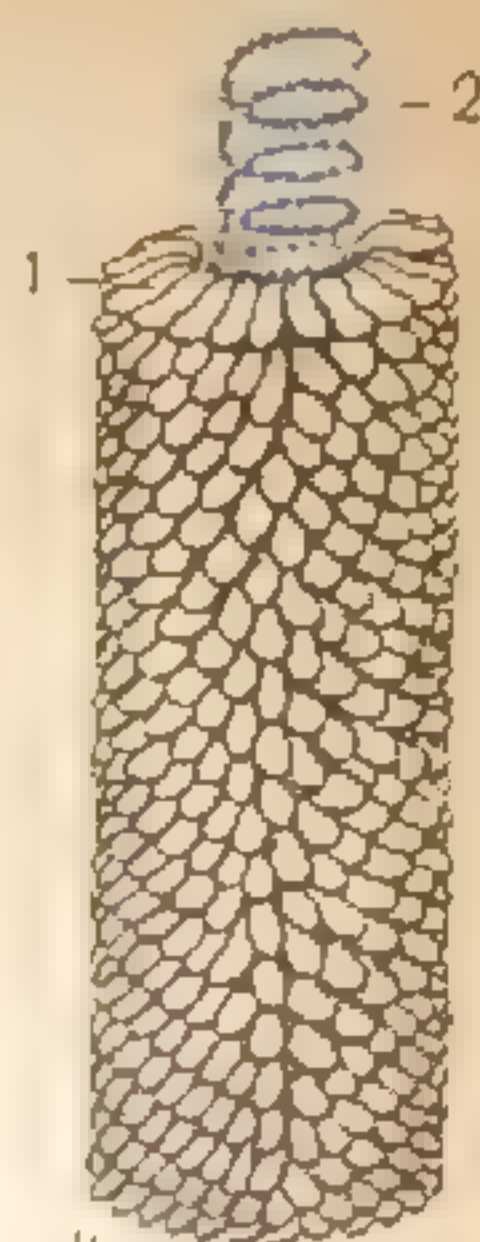
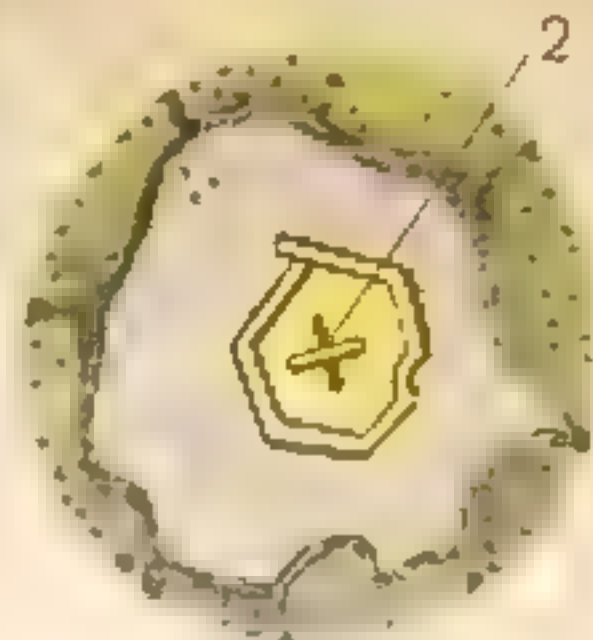
31. Неклеточные организмы

Детальное изучение тонкой структуры клеток показало, что клеточная теория нашла блестящее подтверждение в строении всех многоклеточных и одноклеточных организмов. Лишь одна группа живых существ не может быть охвачена клеточной теорией, так как организмы, принадлежащие к ней, не имеют клеточного строения и представляют поэтому неклеточную форму существования живой материи.

Вирусы. Неклеточные организмы носят название вирусов («вирус» — яд, лат.). Электронномикроскопическое изучение показало, что по строению вирусы сильно отличаются от клеток.

Существование вирусов открыл русский ученый Д. И. Ивановский в 1892 г. Вирусы значительно меньше бактерий. Например, размеры вируса гриппа 800 Å. Вирусы способны жить и размножаться только в клетках растений, животных и человека и не могут вести самостоятельное существование. Вирусы вызывают многие опасные заболевания и приносят вред здоровью человека и ущерб народному хозяйству. Вирусы — возбудители таких заболеваний, как грипп, корь, полиомиелит, оспа. Они вызывают и заболевания растений, например мозаичную болезнь

Рис. 61.



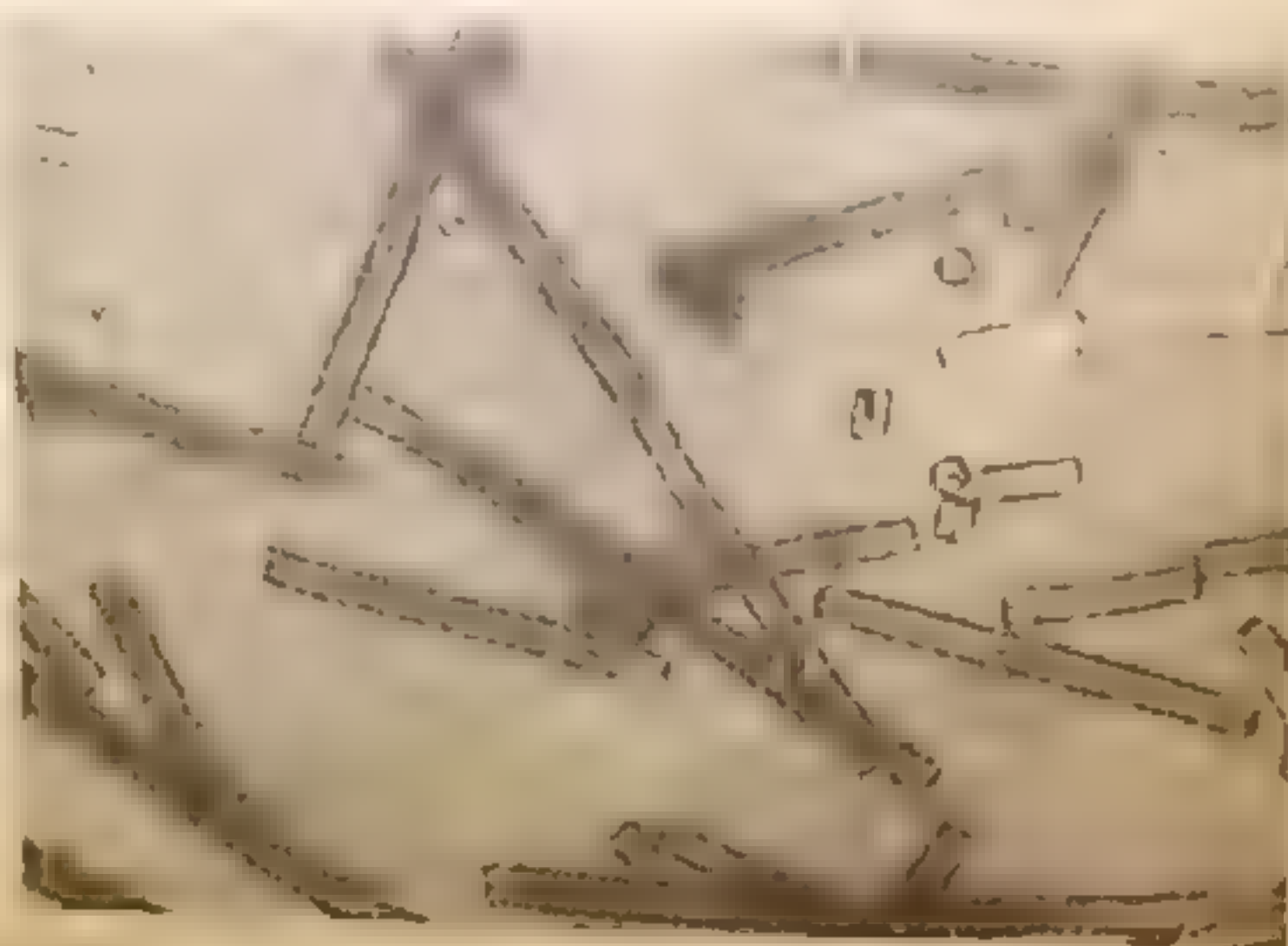
Вirus табачной мозаики.

I. Лист табака, пораженный мозаичной болезнью: 1 — видна мозаичная расцветка листа со светлыми, пораженными вирусом участками; 2 — кристалл вируса в клетке листа. II. Схема строения частицы вируса табачной мозаики. Видна оболочка из белковых молекул (1) и тяж РНК (2), свернутый в виде спирали и расположенный внутри оболочки

табака. Листья больных растений становятся пестрыми, так как вирусы табачной мозаики разрушают хлоропласты и участки листа с разрушенными хлоропластами становятся бесцветными (рис. 61). Известны также вирусы, которые поселяются в клетках бактерий. Такие вирусы называются бактериофагами или просто фагами («фагос» — поглотить, есть). Бактериофаги полностью разрушают бактериальные клетки и потому могут быть использованы для лечения бактериальных заболеваний, например дизентерии, брюшного тифа, холеры.

Строение вирусов наиболее детально изучено на примерах вируса табачной мозаики и бактериофагов. Вирус табачной мозаики (рис. 61) существует в форме отдельных частиц, каждая из которых имеет палочковидную форму и представляет собой цилиндр с полостью внутри. Стенка цилиндра образована молекулами белка, а внутри, под этой белковой оболочкой, располагается тяж РНК, свернутый в форме спирали.

Рис. 62.



Электронномикроскопическая фотография частиц вируса табачной мозаики, которые имеют форму палочек. Увеличение 75 000.

Рис. 63.

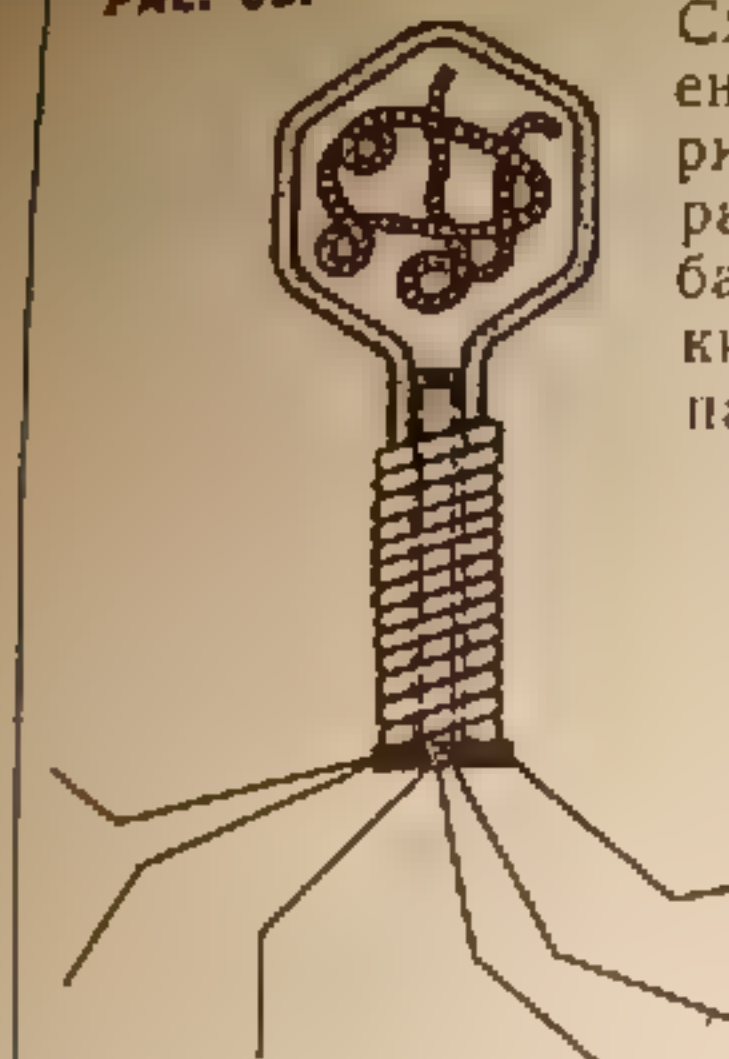


Схема строения бактериофага, поражающего бактерий — кишечных палочек.

В длину частицы вируса достигают 3000 Å, и поэтому их можно видеть только с помощью электронного микроскопа (рис. 62). Частицы вируса поселяются в клетках листьев табака и часто образуют скопления в виде кристаллов шестигранной формы. Эти кристаллы видны в световой микроскоп.

Строение бактериофага рассмотрим на примере форм, которые поселяются в клетках кишечной палочки. Такой бактериофаг (рис. 63) по форме тела напоминает головастика

Длина его около 2000 Å. Тело бактериофага состоит из головки, хвостика и нескольких хвостовых отростков. Снаружи головка и хвостик покрыты белковой оболочкой. Внутри головки находится ДНК, а внутри хвостика проходит канал. Когда бактериофаг проникает в клетку кишечной палочки, то сначала он прикрепляется к ее поверхности, а затем растворяет оболочку бактерии в том месте, где произошло прикрепление. ДНК бактериофага проходит в канал хвостика и впрыскивается в клетку бактерии через отверстие, образовавшееся в ее оболочке. Дальше у кишечной палочки, зараженной бактериофагом, начинает синтезироваться ДНК бактериофага, а не собственная ДНК бактерии, и в конечном итоге бактерия погибает.

Таково строение вирусов, которое действительно сильно отличается от строения клеток. Это дает нам право считать, что вирусы — неклеточные существа. Их строение значительно проще строения клетки.

Эволюция клетки. Существование организмов, не имеющих клеточного строения, служит подтверждением того, что клетки не всегда были такими, какими мы их видим и изучаем сейчас, а прошли длительный путь эволюции. Вероятно, в процессе развития жизни сначала появились какие-то неклеточные организмы, строение которых было значительно проще, чем строение самых простых, известных нам сейчас одноклеточных организмов. Затем, на следующем этапе развития появились клеточные формы существования живой материи. Это, по всей вероятности, были какие-то еще очень просто организованные одноклеточные формы, которые на следующей, более высокой ступени эволюции дали начало многоклеточным организмам.

?

1. Почему вирусы считаются неклеточными организмами? Назовите заболевания растений, животных и человека, вызываемые вирусами. Расскажите об основных особенностях строения вирусов. 2. Какую роль играют неклеточные формы — вирусы и одноклеточные организмы в решении проблемы эволюции клетки?

Жи
тельно
реакци
поступ
уносят
клетки
участк
сложн

Хим
главн
Хим
сходст
указы
Дан
таблиц

Кисл
Угле
Вод
Азот
Каль
Сера
Фосф
Алюм

Как
ных эле
леева
что жи
объект
природ
Элем
три гру
род, вод
более в
клетки
торых в
та. Так
рий, кал
К треть
жате
0,01%).
На а
органиче

32. Химический состав клетки. Вода. Неорганические составные части

Живая клетка характеризуется активной химической деятельностью. В ней одновременно протекают тысячи химических реакций. Вещества из внешней среды непрерывным потоком поступают в клетку, и непрерывно же отработанные продукты уносятся из клетки в окружающую среду. В одних участках клетки вещества подвергаются глубокому распаду, в других участках из простых низкомолекулярных веществ образуются сложные высокомолекулярные соединения.

Химическая деятельность клетки является основой ее жизни, главным условием ее развития и функционирования.

Химический состав клетки. У разных клеток обнаруживается сходство не только в строении, но и в химическом составе. Это указывает на общность происхождения клеток.

Данные об элементарном составе клеток представлены на таблице

Содержание химических элементов в клетке
(в %)

Кислород	65—75	Магний	0,02—0,03
Углерод	15—18	Натрий	0,02—0,03
Водород	8—10	Кальций	0,01—2,00
Азот	1,5—3,0	Железо	0,01—0,015
Калий	0,15—0,4	Цинк	0,0003
Сера	0,15—0,2	Медь	0,0002
Фосфор	0,20—1,00	Никель	0,0001
Хлор	0,05—0,10	Фтор	0,0001

Как видно из таблицы, в состав клеток входит много различных элементов. Из 104 элементов периодической системы Менделеева в клетках обнаружено около 60. Следует подчеркнуть, что живая клетка состоит из тех же элементов, что и неживые объекты. Это указывает на связь и единство живой и неживой природы.

Элементы, входящие в состав клетки, удобно разделить на три группы. В первую группу входят 4 элемента: кислород, углерод, водород и азот. Содержание этих элементов в клетке наиболее велико. На их долю приходится почти 98% всего состава клетки. Следующую группу образуют элементы, содержание которых в клетке исчисляется десятками и сотыми долями процента. Таких элементов 8: калий, сера, фосфор, хлор, магний, натрий, кальций и железо. В сумме они составляют примерно 1,9%. К третьей группе относятся все остальные элементы. Они содержатся в клетке в исключительно малых количествах (менее 0,01%). Их называют поэтому **микроэлементами**.

На атомном уровне различий между химическим составом органического и неорганического мира нет. Различия обнаружи-

ваются на более высоком уровне организации — на молекулярном. Конечно, не все соединения, содержащиеся в клетке, специфичны для живой природы. Такие вещества, как вода и соли, распространены и вне живого. Но в организмах и продуктах их жизнедеятельности уже давно обнаружено присутствие большого числа углеродсодержащих соединений, характерных только для организмов. Эти соединения и называются поэтому *органическими*. Содержание основных химических соединений, обнаруженных в клетках, представлено на таблице.

Содержание в клетке химических соединений
(в %)

Вода	70—85	Нуклеиновые кислоты	1—2
Белки	10—20	АТФ и другие низкомолекулярные органические вещества	0,1—0,5
Жиры	1—5	Неорганические вещества	1,0—1,5
Углеводы	0,2—2,0		

Вода. Из таблицы видно, что среди веществ клетки на первом месте стоит вода. Содержание воды в разных клетках колеблется; обычно она составляет около 80% их массы. Высокое содержание воды в клетке — необходимое условие ее жизненной активности. Чем выше содержание воды в клетке, тем интенсивнее ее жизнедеятельность. Так, в быстрорастущих клетках эмбрионов человека и животных содержится около 95% воды. В клетках взрослого организма воды до 80%, а к старости снижается до 60%. Высокоактивные клетки мозга содержат около 85% воды, а в малоактивных клетках жировой ткани содержание воды не превышает 40%. Смерть в результате лишения воды наступает раньше, чем от отсутствия пищи. Потеря более 20% массы за счет воды для человека смертельна.

Роль воды в клетке велика и многообразна. Вода определяет многие физические свойства клеток — их объем, упругость. Весьма существенна роль воды как растворителя. Многие вещества поступают в клетки в водном растворе, и в водном же растворе отработанные продукты выводятся из клеток. Большинство химических реакций, протекающих в клетке, может идти только в водном растворе. Далее вода непосредственно участвует во многих химических реакциях клетки. Так, например, расщепление белков, жиров, углеводов и других веществ происходит в результате химического взаимодействия этих веществ с водой. Наконец, вода играет существенную роль в распределении и отдаче тепла в клетке.

Биологическая роль воды определяется особенностями ее внутримолекулярной структуры, полярностью ее молекул, способностью образовывать водородные связи. Этими свойствами

объясняется, в частности, высокая удельная теплоемкость воды, что имеет значение для регуляции тепла в клетке. При охлаждении или повышении температуры внешней среды тепло поглощается или выделяется благодаря разрыву или новообразованию водородных связей между молекулами воды. Таким образом, колебания температуры внутри клетки, несмотря на резкие ее изменения во внешней среде, смягчаются. Особенности внутримолекулярной структуры воды объясняются и ее выдающиеся свойства как растворителя. В воде растворяются очень многие вещества: соли, различные органические вещества — белки, углеводы и т. д. Вещество растворяется в том случае, если энергия притяжения молекул воды к молекулам вещества оказывается больше, чем энергия притяжения между молекулами воды. Вещества, у которых энергия притяжения к воде высокая и, следовательно, растворимость особенно большая, называются *гидрофильными* (гидро — вода, «фило» — люблю, греч.). Существует большая группа веществ, трудно или практически почти совсем нерастворимых в воде. К ним относятся большинство неполярных веществ: жиры, липонды, каучук, парафин и др. Энергия притяжения молекул воды к неполярным молекулам оказывается меньше, чем энергия водородных связей. Вещества, у которых энергия притяжения к воде особенно слабая и растворимость соответственно очень низкая, называются *гидрофобными* (гидро — вода, «фобос» — страх, греч.).

Нерастворимость гидрофобных веществ в воде используется клеткой: в состав клеточных мембран входят неполярные вещества (липонды), ограничивающие переход воды из наружной среды в клетку и обратно, а также из одних участков клетки в другие.

Неорганические составные части клетки. Из химических элементов, входящих в состав клеток, часть участвует в построении органических соединений, другая часть находится в виде неорганических веществ. Из углерода, водорода и кислорода состоят углеводы и жиры. Во все белки и нуклеиновые кислоты, кроме этих элементов, входит азот. Многие белки содержат серу. Фосфор — составная часть нуклеиновых кислот, железо входит в состав гемоглобина, магний содержится в хлорофилле, йод участвует в построении молекулы тироксина (гормона щитовидной железы), кобальт входит в состав витамина B_{12} и т. д.

Из неорганических веществ клетки большая часть находится в виде солей. Наиболее важны из катионов: K^+ , Na^+ , Ca^{2+} и Mg^{2+} , из анионов: HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$, Cl^- , HCO_3^- .

Содержание катионов и анионов в клетке и в среде ее обитания, как правило, резко различно. Так, внутри клетки довольно высокая концентрация калия и очень малая натрия. Напротив, в среде, окружающей клетку, — в плазме крови, в морской воде — мало калия и довольно высокая концентрация натрия. В мышечных клетках калия в 30 раз больше, чем в крови, натрия же в 10 раз меньше, чем в крови. Пока клетка жива, это

различие в концентрации K^+ и Na^+ между клеткой и средой стойко удерживается. После смерти клетки содержание K^+ и Na^+ в клетке и среде быстро выравнивается. Наличие в клетке и в окружающей среде неорганических ионов имеет важное значение для нормального функционирования клетки. При отсутствии ионов клетка утрачивает возбудимость и погибает.

Минеральные вещества содержатся в клетке не только в растворенном, но и в твердом состоянии; в частности, прочность и твердость костной ткани, а также раковин моллюсков обязаны присутствию в них нерастворимого фосфорнокислого кальция.

Если в среде, окружающей клетку, содержатся в недостаточном количестве элементы P, Fe, Mg, микроэлементы I, Co, Zn и др., то нарушается образование важных соединений: нуклеиновых кислот, гемоглобина, хлорофилла, тироксина, витамина B_{12} и т. д. — и в результате возникают различные заболевания, задержка роста и развития.

- ? 1. Какие 4 элемента содержатся в клетках в наибольшем количестве?
2. Что такое микроэлементы и какое они имеют значение для жизнедеятельности клетки? 3. Какие особенности структуры воды важны для понимания ее биологической роли? 4. Какие вещества называются гидрофильными, гидрофобными? Приведите примеры. 5. Какие неорганические ионы содержатся в клетке?

33. Белки

Из плотных веществ клетки на первом месте по количеству (см. табл. на стр. 134) и значению стоят белки.

Белки имеют другое название — *протеины* («протос» — первый, главный, *греч.*), что подчеркивает их первостепенное значение для жизни.

В отличие от обычно встречающихся веществ белки обладают рядом существенных особенностей. Прежде всего у них огромная молекулярная масса. Молекулярная масса такого органического вещества, как этиловый спирт, равна 46, уксусной кислоты — 60, бензола — 78 и т. д. Молекулярная масса одного из белков яйца равна 36 000; а одного из белков мышц достигает 1 500 000. Ясно, что по сравнению с молекулами спирта или бензола и многих других органических соединений молекула белка — великан. В ее построении участвуют тысячи атомов. Для того, чтобы подчеркнуть гигантские размеры такой молекулы, ее обычно называют *макромолекулой* («макрос» — большой, *греч.*).

Среди органических соединений белки самые сложные. Они относятся к группе соединений, называемых полимерами. Молекула любого полимера представляет собой длинную цепь, в которой многократно повторяется одна и та же сравнительно простая структура, называемая мономером. Если обозначить мономер буквой А, то структура полимера может быть записана так: А—А—А—А—А—А—А. В природе, кроме белков, су-

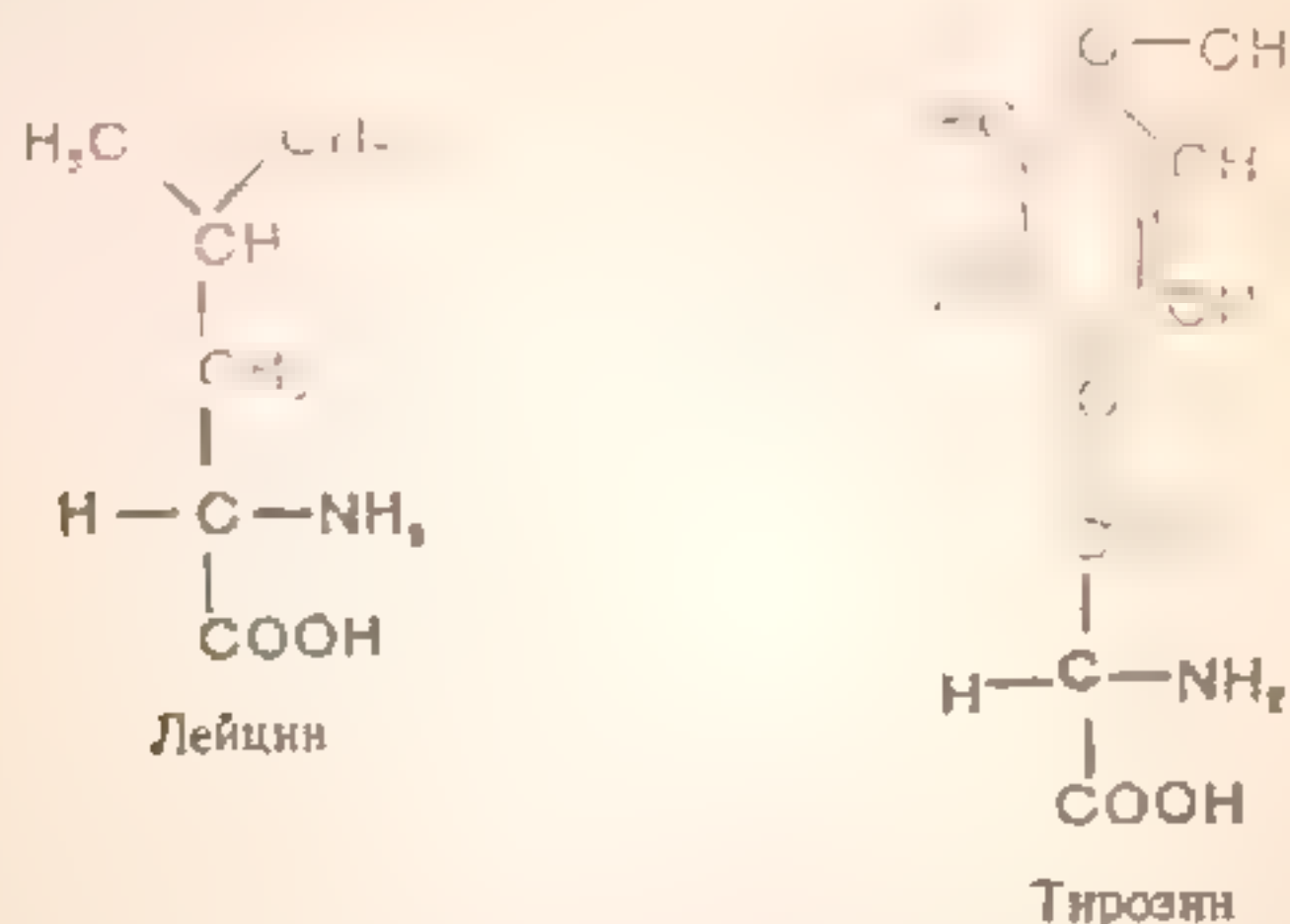
шеству
мал, ка
мики
лен, ка
и все
структ
ки же,
сходны
Мон
ковых
дая ам
Для то
кислота
формул

Как
одна и

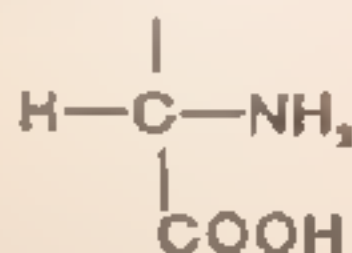
В н
($COOH$)
им амф
ные (ш
жаннем
кислота
разная
Рад
леводор
Снег
происхо
казано
карбокс
бодивши

существует много других полимеров, например: целлюлоза, крахмал, каучук, нуклеиновые кислоты и др. В последние годы химики создали множество искусственных полимеров: полиэтилен, капрон, лавсан и пр. Большинство природных полимеров и все искусственные построены из одинаковых мономеров, и их структура именно такая, как на приведенной выше схеме. Белки же, в отличие от обычных полимеров, построены хотя и из сходных по структуре, но не вполне одинаковых мономеров.

Мономерами белка являются аминокислоты. В составе белковых полимеров обнаружено 20 различных аминокислот. Каждая аминокислота имеет особое строение, свойства и название. Для того чтобы понять, в чем состоит сходство между аминокислотами и чем они отличаются друг от друга, ниже даны формулы двух из них:



Как видно из формул, в каждой аминокислоте содержится одна и та же группировка:



В нее входит аминогруппа (NH_2) и карбоксильная группа (COOH). Наличие обеих этих групп в аминокислотах придает им амфотерные свойства, так как аминогруппе присущи основные (щелочные) свойства, а карбоксилу — кислотные. Содержанием аминогруппы и карбоксильной сходство между аминокислотами и ограничивается. Остальная часть молекулы у них разная и называется радикалом.

Радикалы у разных аминокислот различные; у одних — углеводородные цепи, у других — бензольные кольца и т. д.

Сцепление аминокислот при образовании белкового полимера происходит через общую для всех них группировку, так, как показано на рисунке 64. Из аминогруппы одной аминокислоты и карбоксила другой выделяется молекула воды, и за счет освободившихся валентностей остатки аминокислот соединяются.

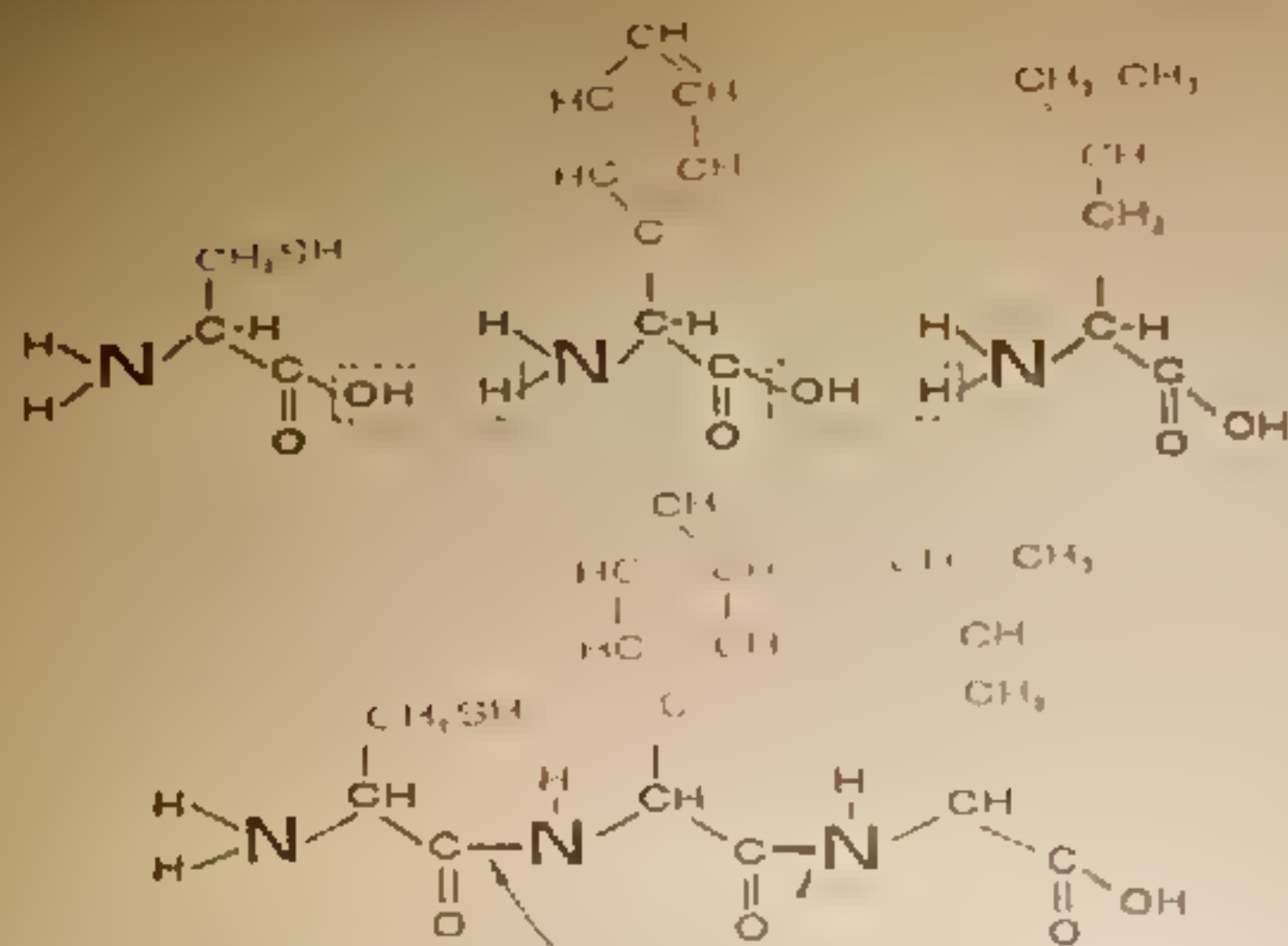


Рис. 64.

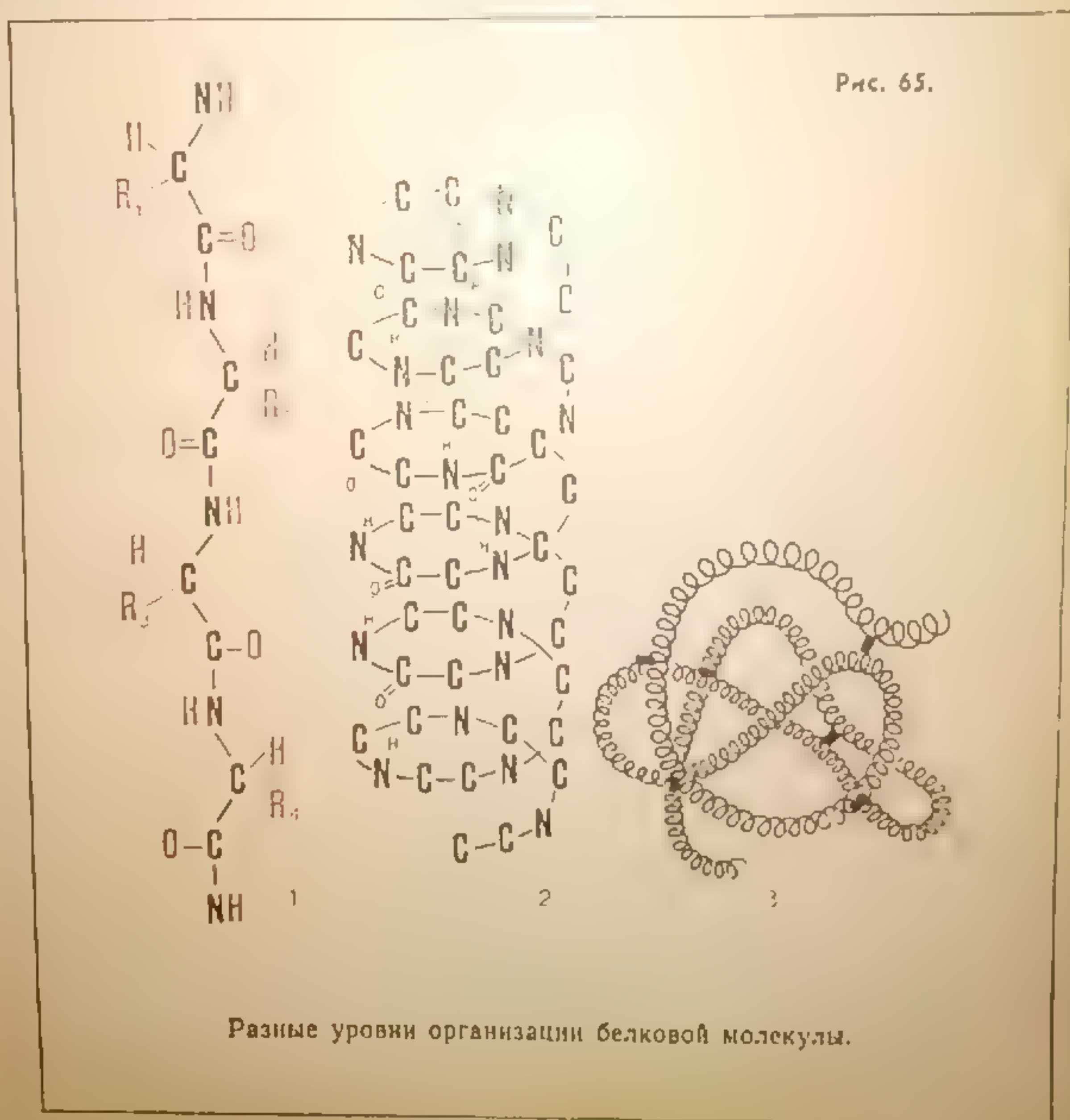
Схема образования фрагмента молекулы белка.

ПЕПТИДНЫЕ СВЯЗИ

Между соединившимися аминокислотами возникает связь $\text{NH}-\text{CO}$, называемая пептидной связью, а образовавшееся соединение называется пептидом. Из двух аминокислот образуется дипептид (димер), из трех аминокислот таким же образом возникает трипептид (тример), из многих — полипептид (полимер). Природный белок и представляет собой полипептид, т. е. цепь из нескольких десятков или сотен аминокислотных звеньев. Белки различаются между собой и по составу аминокислот, и по числу аминокислотных звеньев, и по порядку следования их в цепи. Если обозначить каждую аминокислоту буквой, получится алфавит из 20 букв. Попробуйте теперь составить из этих букв фразы из 100, 200, 300 букв. Каждая такая фраза и будет соответствовать какому-нибудь одному белку. Достаточно переставить одну букву — и смысл фразы исказится, получится новая фраза и соответственно новый изомер белка. Легко себе представить, какое гигантское число вариантов можно при этом получить. Действительно, число различных белков, содержащихся в клетках животных и растений, исключительно велико.

Строение молекулы белка. Если учесть, что размер каждого аминокислотного звена составляет около 3 Å, то очевидно, что макромолекула белка, которая состоит из нескольких сот аминокислотных звеньев, должна была бы представлять собой длинную цепь. В действительности же макромолекулы белка имеют вид шариков (глобул). Следовательно, в нативном белке («нативус» — природный, лат.) полипептидная цепь каким-то образом закручена, как-то уложена. Исследования показывают, что в укладке полипептидной цепи нет ничего случайного или хаотического, каждому белку присущ определенный, всегда постоянный характер укладки. В сложной структуре белковой макромолекулы различают несколько уровней организации. Первым, наиболее простым из них является сама полипептидная цепь, т. е. цепь аминокислотных звеньев, связанных между собой пептидными связями (рис. 64). Эта структура называется *первич-*

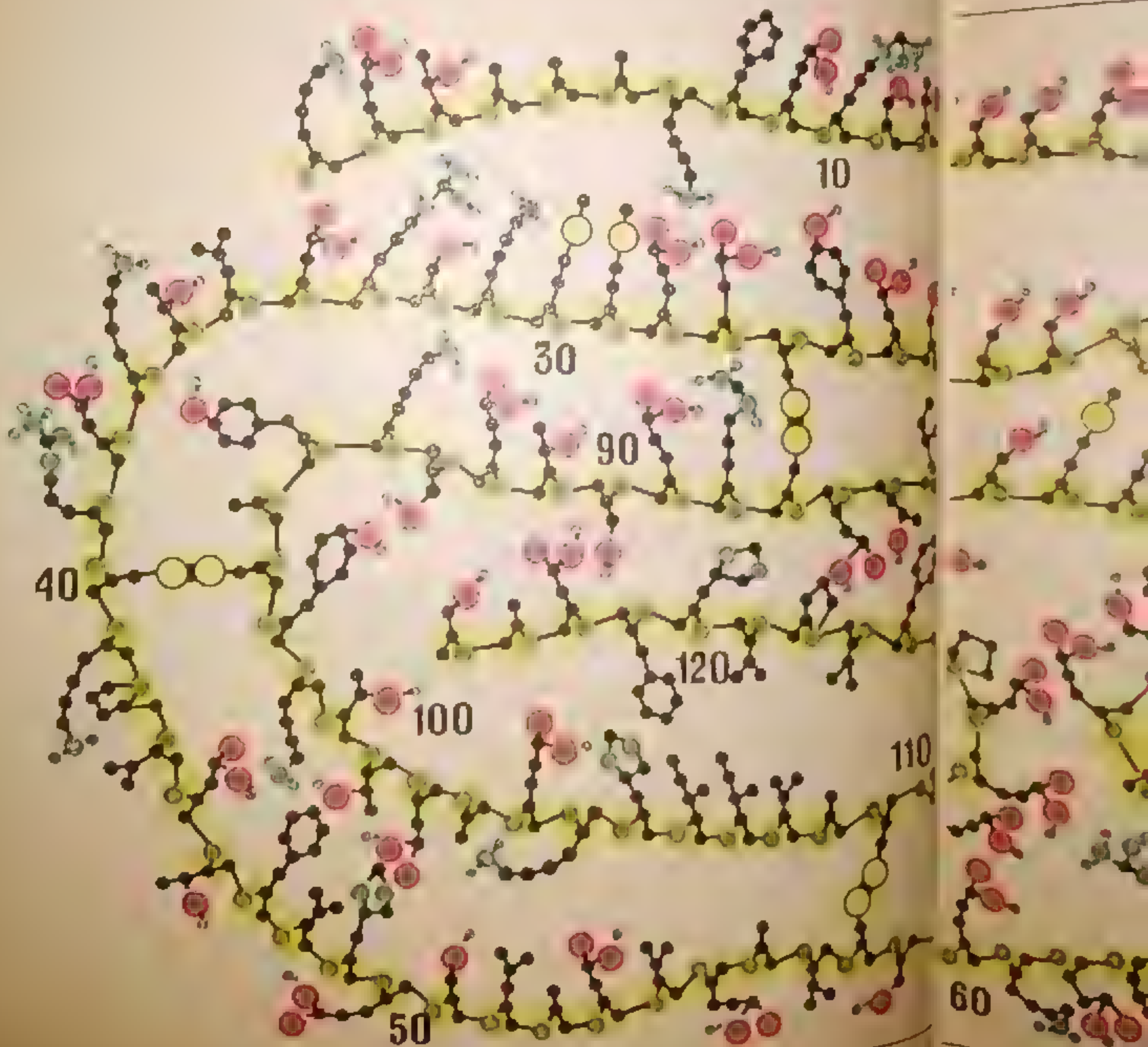
ной структурой белка; в ней все связи ковалентные, т. е. самые прочные химические связи. Следующим, более высоким уровнем организации является *вторичная структура*, где белковая нить закручивается в виде спирали. Витки спирали располагаются тесно, и между атомами и аминокислотными радикалами, находящимися на соседних витках, возникает притяжение. В частности, между пептидными связями, расположенными на соседних витках, образуются водородные связи (между NH- и CO-группами). Водородные связи значительно слабее ковалентных, но, повторенные многократно, они дают прочное сцепление. Полипептидная спираль, «прошитая» многочисленными водородными связями, представляет достаточно устойчивую структуру (рис. 65, 2). Вторичная структура белка подвергается дальнейшей укладке. Она сворачивается причудливо, но вполне определенно и у каждого белка строго специфично. В результате возникает уникальная конфигурация, называемая *третичной*



структурой белка (рис. 65, 3). Связи, поддерживающие третичную структуру, еще слабее водородных. Они называются гидрофобными. Это — силы сцепления между неполярными молекулами или неполярными радикалами. Такие радикалы встречаются у ряда аминокислот. По той же причине, по какой распыленные в воде частицы масла или какого-нибудь другого гидрофобного вещества слипаются в капельки, происходит слипание гидрофобных радикалов полипептидной цепи. Хотя гидрофобные силы сцепления относятся к слабейшим связям, но благодаря их многочисленности они в сумме дают значительную энергию взаимодействия. Участие «слабых» связей в поддержании уникальной структуры белковой макромолекулы обеспечивает достаточную ее устойчивость и вместе с тем высокую подвижность. У некоторых белков в поддержании белко-

вой мо
S—S
щие в
Вы
т. е. п
ной ст
для р
браже
из пе
ностей
В
шивали
собрани
ства на

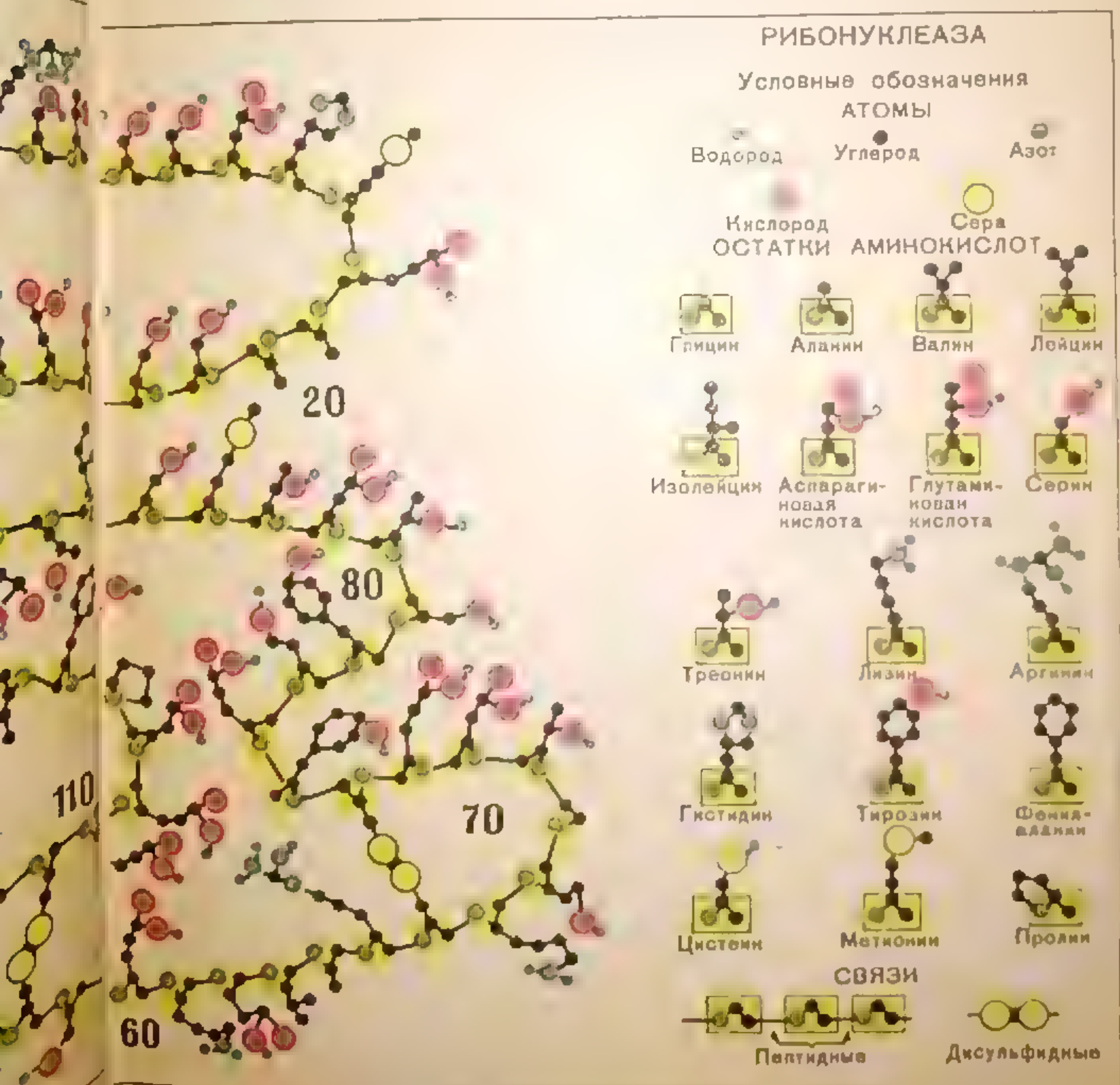
Рис. 66.



вой макромолекулы существенную роль играют так называемые S—S (эс—эс связи) — прочные ковалентные связи, возникающие между отдаленными участками полипептидной цепи.

Выяснение всех деталей строения белковой макромолекулы, т. е. полная характеристика ее первичной, вторичной и третичной структуры, — очень сложная и длительная работа. Однако для ряда белков эти данные уже получены. На рисунке 66 изображена структура белка рибонуклеазы. Рибонуклеаза — один из первых белков, структура которого расшифрована полностью¹. Как видно из рисунка 66, первичная структура рибону-

¹ В 1969 г. рибонуклеаза была синтезирована. Цепочку фермента наращивали по одному аминокислотному остатку. Когда цепочка белка была собрана, она самопроизвольно свернулась в клубок и обнаружила все свойства нативного фермента.



клеазы образована 124 аминокислотными остатками. Счет аминокислотных остатков в полипептидной цепи принято вести от аминокислоты, сохранившей NH_2 -группу (N — конец цепи), последней аминокислотой считается аминокислота, сохранившая карбоксильную группу (C — конец цепи). Таким образом, первая по счету аминокислота рибонуклеазы — лизин, вторая — глутаминовая кислота и т. д. Достаточно исключить или переставить одну аминокислоту в цепи — и вместо рибонуклеазы возникнет другой белок с другими свойствами.

Для упрощения на рисунке не показано, как закручивается в спираль полипептидная цепь, а третичная структура изображена в плоскости бумаги. Обратите внимание на «сшивки» между 26-й и 87-й аминокислотами, между 66-й и 73-й, между 56-й и 111-й, между 40-й и 97-й. В этих местах между радикалами аминокислоты цистеина, находящимися на удаленных участках полипептидной цепи, образуются —S—S-связи.

Денатурация белка. Чем выше уровень организации белка, тем слабее поддерживающие его связи. Под влиянием различных физических и химических факторов — высокой температуры, действия химических веществ, лучистой энергии и др. — «слабые» связи рвутся, структуры белка — третичная, вторичная — деформируются, разрушаются и свойства его изменяются. Нарушение нативной уникальной структуры белка называется денатурацией. Степень денатурации белка зависит от интенсивности воздействия на него различных факторов, чем интенсивнее воздействие, тем глубже денатурация.

При слабом воздействии изменение белка может ограничиться частичным разворачиванием третичной структуры. При более сильном воздействии макромолекула может развернуться полностью и остаться в форме своей первичной структуры (рис. 67).

Разные белки сильно отличаются друг от друга по легкости, с какой они денатурируются. Денатурация яичного белка происходит, например, при $60-70^\circ\text{C}$, а сократительный белок мышц денатурируется около 45°C . Многие белки денатурируются от действия ничтожных концентраций химических веществ, а некоторые даже от незначительного механического воздействия.

Как показывают исследования, процесс денатурации обратим, т. е. денатурированный белок может перейти обратно в нативный. Даже полностью развернутая макромолекула белка способна самопроизвольно восстановить свою структуру. Отсюда следует, что все особенности строения макромолекулы нативного белка определяются его первичной структурой, т. е. составом аминокислот и порядком их следования в цепи.

Роль белков в клетке. Значение белков для жизни велико и многообразно. На первом месте стоит их каталитическая функция. Скорость химической реакции зависит от природы реагирующих веществ и от их концентрации. Химическая активность клеточных веществ, как правило, невелика. Концентрации их в клетке большей частью незначительны. Таким образом, реакции в клетке должны были бы протекать бесконечно медленно. Меж-

рис. 67.

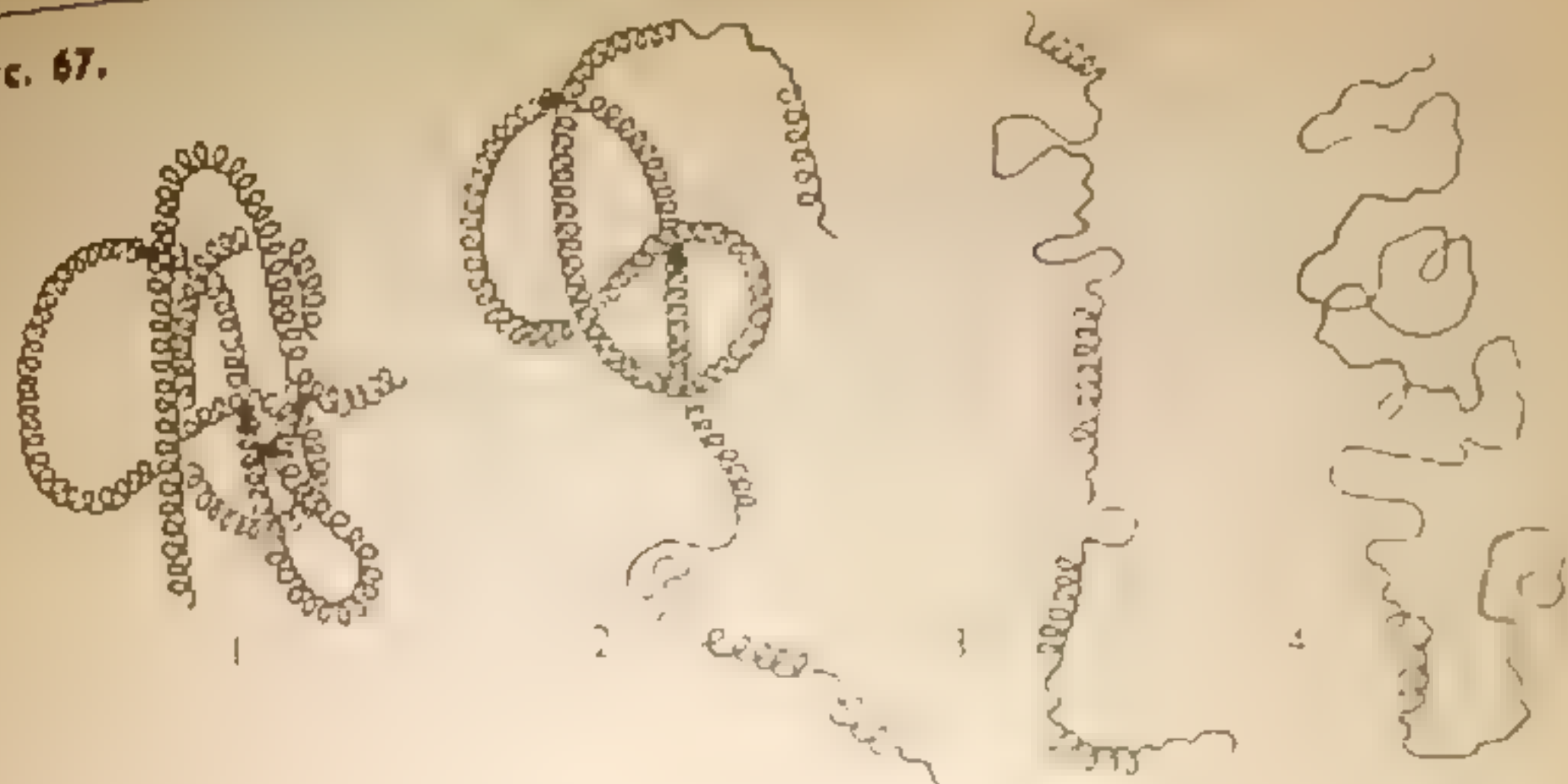


Схема процесса денатурации белка

ду тем известно, что химические реакции в клетке идут со значительной скоростью. Это достигается благодаря наличию в клетке катализаторов. Все катализаторы — белки. Они называются биокатализаторами, а чаще их называют ферментами. Каталитическая активность ферментов необычайно велика. Так, например, фермент, катализирующий реакцию распада перекиси водорода, ускоряет эту реакцию в 10^{11} раз. По химической структуре ферменты не отличаются от белков, не обладающих ферментативными функциями: те и другие построены из обычных аминокислот. И те и другие обладают вторичной, третичной и четвертичной структурой. В большинстве случаев ферменты катализируют реакции, для которых, размеры молекул которых по сравнению с размерами молекул ферментов очень малы. Например, фермент каталаза имеет молекулярную массу около 100 000, а перекись водорода, распад которой катализирует каталаза, имеет массу 34. Такое соотношение между размерами фермента и его субстрата (вещества, на которое действует фермент) наводит на мысль, что каталитическая активность ферментов определяется не всей его молекулой, а каким-то небольшим ее участком. Этот участок называется **активным центром** фермента. По-видимому, активный центр представляет собой какое-то сочетание групп, лежащих на расположенных рядом полипептидных цепях и третицной структуре фермента. Такое представление хорошо объясняет тот факт, что при денатурации фермента он лишается своей каталитической активности. Очевидно, при нарушении третичной структуры взаимное расположение полипептидных цепей изменяется, структура активного центра искажается и фермент лишается активности. Почти каждая химическая реакция в клетке катализируется своим особым ферментом. Структура активного центра и структура субстрата точно соответствуют друг другу. Они подходят друг к другу, как ключ к замку. Благодаря наличию пространственного соответствия между структурой активного центра фермента

и структурой субстрата они могут тесно сблизиться между собой, что и обеспечивает возможность реакции между ними.

Кроме каталитической функции, очень важна *двигательная функция* белков. Все виды движений, к которым способны клетки и организмы, — сокращение мышц у высших животных, мерцание ресничек у простейших, двигательные реакции растений и др. — выполняются особыми сократительными белками.

Еще одна функция белков — *транспортная*. Белок крови гемоглобин присоединяет кислород и разносит его по всему телу.

При введении чужеродных веществ или клеток в организм в нем происходит выработка особых белков, называемых антителами, которые связывают и обезвреживают чужеродные вещества. В этом случае белки выполняют *защитную функцию*.

Существенно значение белков и как источника энергии. Белки распадаются в клетке до аминокислот. Часть аминокислот употребляется для синтеза белков, часть же подвергается глубокому расщеплению, в ходе которого освобождается энергия. При расщеплении 1 г белка освобождается 17,6 кдж (4,2 ккал).

Белки — это материал, из которого состоит клетка. Белки участвуют в построении внешней оболочки клетки, внутриклеточных мембран. У высших организмов из белков образованы кровеносные сосуды, роговица глаза, сухожилия, хрящ, волосы.

Таким образом, кроме каталитической, двигательной, транспортной, защитной и энергетической функций, белкам принадлежит еще и *структурная функция*.

- ? 1. Чем отличаются белки как полимеры от других полимеров, например от крахмала или целлюлозы? 2. Что называется первичной, вторичной, третичной структурами белка? Какие связи поддерживают эти структуры? 3. Что называется денатурацией белка? 4. На каком основании приходят к выводу о том, что все особенности структуры белка определяются его первичной структурой? 5. Что называется ферментом? 6. Что называется активным центром фермента? 7. Охарактеризуйте значение белков для жизни.

34. Углеводы

В животной клетке углеводы содержатся в небольшом количестве — около 1% (от массы сухого вещества). В клетках печени и мышцах содержание их более высокое — до 5%. Наиболее богаты углеводами растительные клетки. В листьях, семенах, клубнях картофеля и т. д. углеводы составляют почти 90%.

Углеводы представляют собой органические соединения, в состав которых входят углерод, водород и кислород.

Углеводы разделяются на простые и сложные. Простые углеводы называются иначе моносахаридами, сложные — полисахаридами. Полисахариды представляют полимеры, в которых роль мономеров играют моносахариды.

Моносахариды. Для того чтобы иметь представление о химическом строении моносахаридов, приводим одну из

структу

Наз
слова
свойств
«тетро
мов уг
на сл
греч.)
фрукт

Все
мые в
Сам
и трио
тоза.
в своб
а так
Глюко
и гала
пентоз
янин
и АТФ

По
рид, к
триса
де, об
них з
кий в
Из
часто
сахар
кулы
жащи
зован
харид

структурных формул:

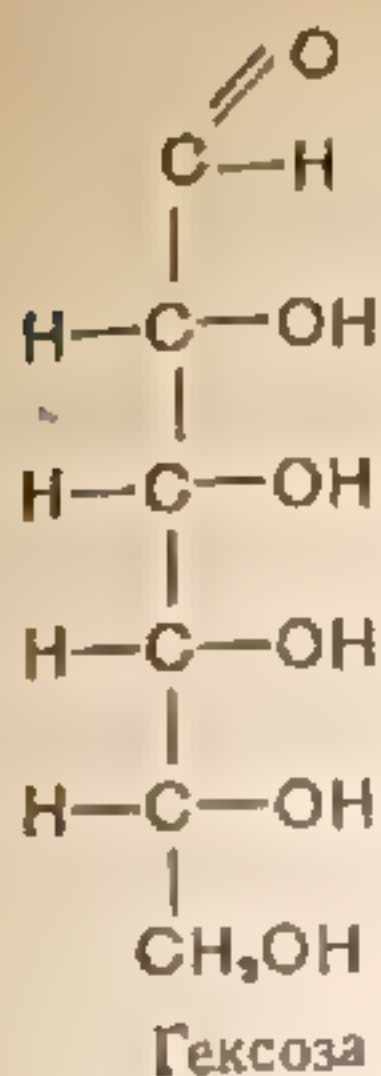


Рис. 68.

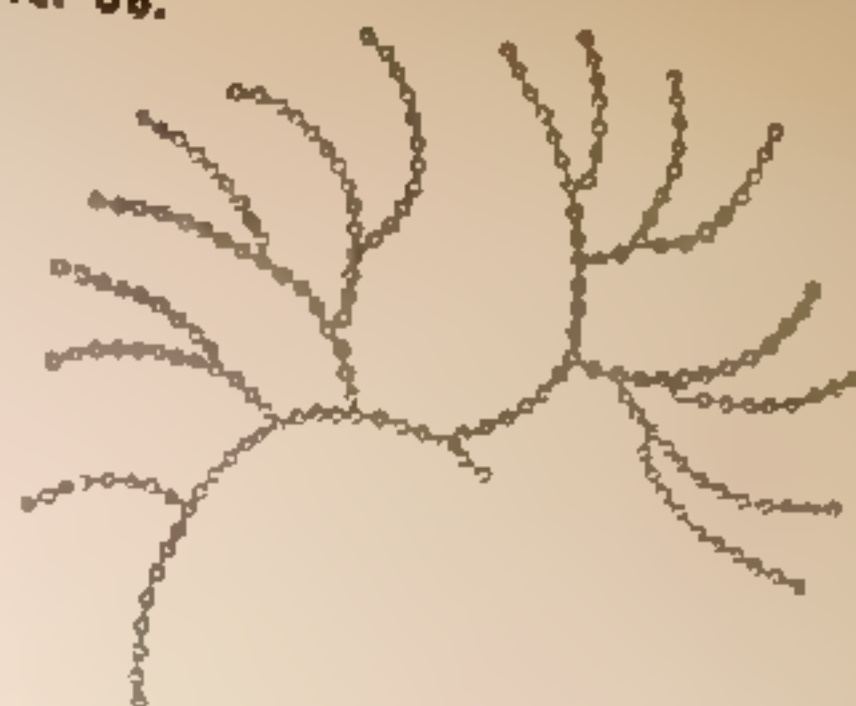


Схема строения молекулы крахмала.

Названия моносахаридов имеют окончания «оза». Корнем слова служит число С-атомов в молекуле или какое-нибудь свойство моносахарида. Таким образом, названия «триоза», «тетроза», «пентоза», «гексоза» и т. д. указывают на число атомов углерода в молекуле моносахарида, а название «глюкоза» — на сладкий вкус этого моносахарида («гликос» — сладкий, греч.), «фруктоза» — на содержание этого моносахарида в фруктах («фруктус» — плоды, лат.).

Все моносахариды — бесцветные вещества, хорошо растворимые в воде, почти все они обладают приятным сладким вкусом.

Самые распространенные моносахариды — гексозы, пентозы и триозы. Из гексоз особенно важны глюкоза, фруктоза и галактоза. Глюкоза и фруктоза содержатся во многих продуктах в свободном состоянии. Сладкий вкус многих фруктов и ягод, а также меда зависит от присутствия в них глюкозы и фруктозы. Глюкоза содержится также в крови (0,1%). Глюкоза, фруктоза и галактоза входят в состав многих ди- и полисахаридов. Из пентоз важны рибоза и дезоксирибоза. Обе в свободном состоянии не встречаются. Они входят в состав нуклеиновых кислот и АТФ.

Полисахариды. Из двух моносахаридов образуется дисахарид, из трех — трисахарид, из многих — полисахарид. Ди- и трисахариды, подобно моносахаридам, хорошо растворимы в воде, обладают сладким вкусом. С увеличением числа мономерных звеньев растворимость полисахаридов уменьшается, сладкий вкус исчезает.

Из дисахаридов всем известен пищевой сахар, называемый часто также тростниковым сахаром, свекловичным сахаром или сахарозой. Сахароза образована из молекулы глюкозы и молекулы фруктозы. Широко распространен молочный сахар, содержащийся в молоке всех млекопитающих. Молочный сахар образован из молекулы глюкозы и молекулы галактозы. Из полисахаридов самый важный и широко распространенный — крахмал.

Мономер крахмала — глюкоза. В отличие от обычных полимеров, в которых мономерные звенья следуют друг за другом и образуют вытянутую цепь, крахмал представляет собой ветвистый полимер (рис. 68). Со структурой крахмала сходна структура гликогена, содержащегося в печени и мышцах животных. Мономером гликогена, как и крахмала, служит глюкоза.

Самый распространенный в природе углевод — клетчатка (целлюлоза). Древесина — почти чистая целлюлоза. По своей структуре целлюлоза — это обычный вытянутый в длинную цепь полимер. Мономер целлюлозы — глюкоза: каждая молекула целлюлозы состоит примерно из 150—200 молекул глюкозы.

Биологическая роль углеводов. Углеводы играют роль источника энергии, необходимой для осуществления клеткой различных форм активности. Любая деятельность — движение, секреция, биосинтез, свечение и т. д. — нуждается в затрате энергии. Углеводы подвергаются в клетке глубокому расщеплению и окислению и превращаются в простейшие продукты: CO_2 и H_2O . В ходе этого процесса освобождается энергия. При полном расщеплении и окислении 1 г углеводов освобождается 17,6 кдж (4,2 ккал).

Кроме энергетической роли, углеводы выполняют и строительную функцию: из углевода клетчатки состоят стенки растительных клеток.

? 1. Какие типы углеводов содержатся в клетке? 2. Охарактеризуйте биологическую роль углеводов.

35. Жиры и липоиды

Содержание жира в клетках обычно невелико и составляет 5—15% от массы сухого вещества. Существуют, однако, клетки, жира в которых почти 90%. Эти клетки содержатся в жировой ткани. У животных жировая ткань находится под кожей и в сальнике. Жир содержится в молоке всех млекопитающих животных, причем у некоторых из них содержание жира в молоке достигает 40% (у самки дельфина). У ряда растений большое количество жира сосредоточено в семенах и плодах, например у подсолнечника, грецкого ореха.

Наиболее примечательным свойством жира является его резко выраженный гидрофобный характер, т. е. неспособность растворяться в воде. Для растворения жира применяются неводные растворители: бензин, эфир, ацетон.

С химической стороны жиры представляют собой соединения глицерина (трехатомного спирта) с высокомолекулярными органическими кислотами. Остаток глицерина, содержащийся в жире, обладает гидрофильными свойствами, остатки же высокомолекулярных жирных кислот — 3 длинные углеводородные цепи — резко гидрофобны. Если на поверхность воды нанести каплю жира, она растекается по ней, образуя тончайший слой. Установлено, что в таком слое жира к поверхности воды обра-

щены ги-
торчат в-
ние моле-
вается и

Кром-
шое числ-
ными св-
поса —

По х-
ром. К т-
фатиды

жится в

Биоло-

но быть

как и у-

продукт-

большое

Единстве

ся моло-

зом соде-

вают жи-

имеет зн-

му лише

года в

местност

не). Выс

печения

укрепитс

Кром-

структур

мы в вод

бран. Эт

клетки с

частей к-

Жир

образуя

значител

? 1. Ка

сост

наме

гиче

36. Ну

Назва

слова «и

выделены

кислот: д

и рибону

щены гидрофильные остатки глицерина, а из воды часто торчат вверх углеводородные цепи. Таким образом, расположение молекул жира в водной среде самопроизвольно упорядочивается и определяется молекулярной структурой жира.

Кроме жира, в клетке обычно присутствует довольно большое число веществ, обладающих, как и жиры, сильно гидрофобными свойствами. Эти вещества называются липоидами («липос» — жир, «эйдос» — вид, *греч.*).

По химической структуре некоторые липониды сходны с жиром. К таким липоидам относятся, например, фосфатиды. Фосфатиды обнаружены во всех клетках. Особенно много их содержится в желтке яйца, в клетках мозговой ткани.

Биологическая роль жира многообразна. Прежде всего должно быть отмечено его значение как источника энергии. Жиры, как и углеводы, способны расщепляться в клетке до простых продуктов (CO_2 и H_2O), и в ходе этого процесса освобождается большое количество энергии 38,9 кДж (9,3 ккал) на 1 г жира. Единственной пищей новорожденных у млекопитающих является молоко. Энергоемкость молока определяется главным образом содержанием в нем жира. Животные и растения откладывают жир в запас и используют его в случае необходимости. Это имеет значение для животных, приспособившихся к длительному лишению пищи, например для впадающих в холодное время года в спячку или совершающих длительные переходы через местность, лишенную источников питания (верблюды в пустыне). Высокое содержание жира в семенах необходимо для обеспечения энергией развивающегося растения, пока в нем не укрепится и не начнет функционировать корневая система.

Кроме энергетической функции, жиры и липониды выполняют структурные и защитные функции. Жиры и липониды нерастворимы в воде. Тончайшие их слои входят в состав клеточных мембран. Это создает препятствие для смешивания содержимого клетки с окружающей средой, а также содержимого отдельных частей клетки между собой.

Жир плохо проводит тепло. Он откладывается под кожей, образуя у некоторых животных (например, тюленей, китов) значительные скопления (толщиной до 1 м).

- ? 1. Какие свойства жиров и липонидов отличают их от других веществ — составных частей клетки? 2. Как располагаются молекулы жира при нанесении капли его на поверхность воды? 3. Охарактеризуйте биологическую роль жира.

36. Нуклеиновые кислоты. АТФ

Название «нуклеиновые кислоты» происходит от латинского слова «нуклеус», т. е. ядро. Они впервые были обнаружены и выделены из ядер клеток. Существует два типа нуклеиновых кислот: дезоксирибонуклеиновые кислоты (сокращенно — ДНК) и рибонуклеиновые кислоты (РНК). ДНК содержится почти

исключительно в ядре клетки, а РНК и в ядре, и в цитоплазме. Содержание ДНК в ядрах клеток строго постоянно, содержание РНК сильно колеблется.

Биологическое значение нуклеиновых кислот очень велико. Они играют центральную роль в синтезе белков клетки. Любая клетка возникает в результате деления материнской клетки. При этом дочерние клетки наследуют свойства и признаки материнской. Свойства же и признаки клетки определяются главным образом ее белками. ДНК и РНК, как это будет показано дальше, обеспечивают синтез белков той же структуры и того же состава, которые имеются у материнской клетки.

ДНК. По своей структуре ДНК представляет своеобразное, не похожее ни на одно известное в химии соединение. На рисунке 69 видно, что молекула ДНК состоит из двух спирально закрученных друг вокруг друга цепей. Ширина такой двойной спирали ДНК всего около 20 Å, зато длина ее исключительно вели-

ка. Она может достигнуть нескольких десятков и даже сотен микрометров. Для того, чтобы оценить эту величину, учтем, что длина самой крупной белковой молекулы (в развернутом состоянии) не превышает 0,1 мкм. Таким образом, длина молекулы ДНК в сотни и тысячи раз больше самой крупной белковой молекулы. Молекулярный вес ДНК гигантски велик: он составляет десятки и даже сотни миллионов. Эти цифры относятся к двойной спирали. На каждую цепь приходится половина веса.

С химической стороны каждая цепь ДНК — полимер, мономерами которого являются так называемые нуклеотиды. Для того чтобы представить себе, что такое нуклеотид, обратимся к схеме (рис. 70), из которой видно, что нуклеотид является продуктом химического соединения трех разных веществ: азотистого основания, простого углевода (пентозы) и фосфорной кислоты.

В состав ДНК входят четыре разных типа нуклеотидов. Они различаются между собой только по структуре азотисто-

Рис. 69.

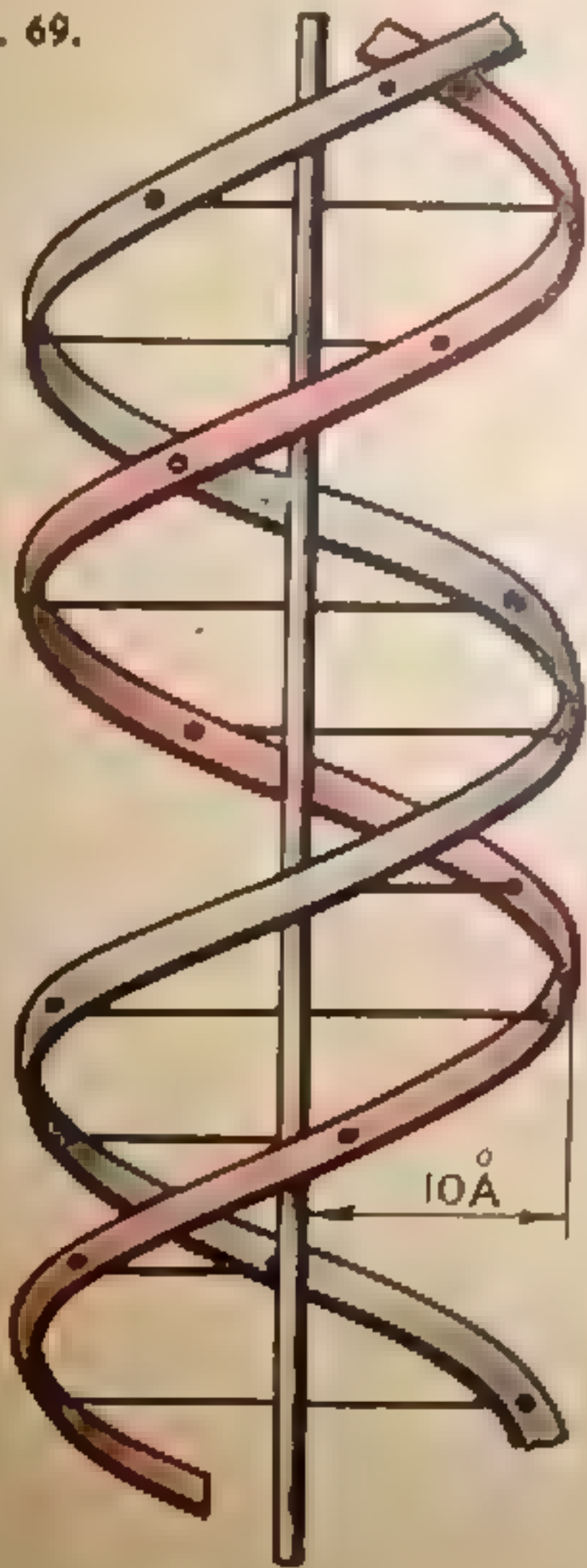


Схема строения молекулы ДНК из двух спирально закрученных полинуклеотидных цепей.

го осно
их моле
одинако
му и на
муся в
нию. У
во всех
зывается
Сце
между
няются
оксириб
клеотид
выделяе
прочной
получает
из мног
ет собой
определ
следуют
клеотид
Произве
нуклеоти
пи ДНК
состоит
всего 4
шем в
гигантск
Пози
друга це
живают
На р
ли ДНК

Рис. 70



Схема

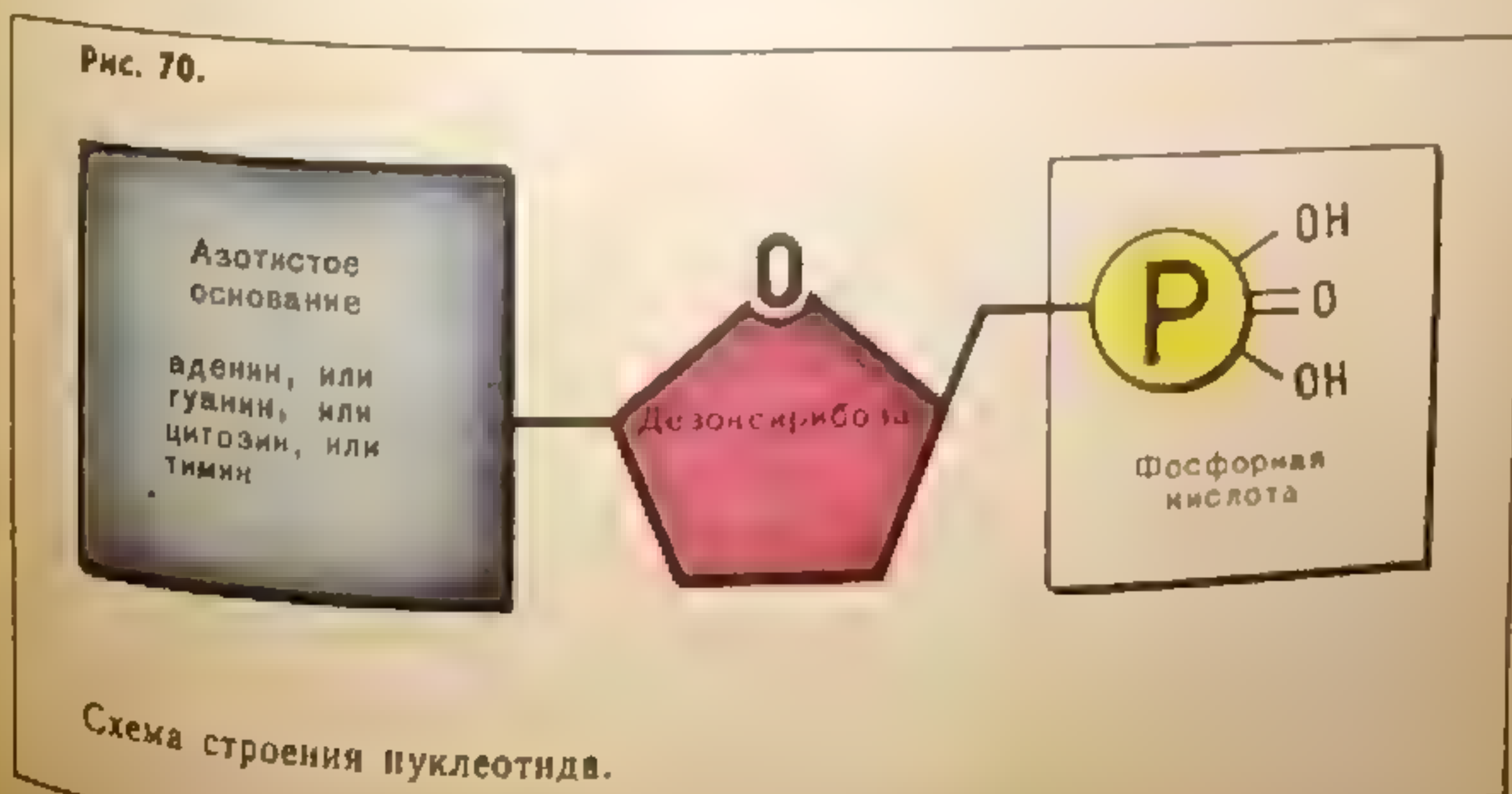
го основания, остальная часть их молекул у всех нуклеотидов одинакова. Нуклеотиды поэтому и называют по содержащемуся в них азотистому основанию. Углевод, содержащийся во всех нуклеотидах ДНК, называется *дезоксирибозой*.

Сцепление нуклеотидов между собой, когда они соединяются в цепь ДНК, происходит через фосфорную кислоту и дезоксирибозу. За счет гидроксила фосфорной кислоты одного нуклеотида и гидроксила дезоксирибозы соседнего нуклеотида выделяется молекула воды и остатки нуклеотидов соединяются прочной ковалентной связью (рис. 71). Из двух нуклеотидов получается динуклеотид, из трех нуклеотидов — тринуклеотид, из многих — полинуклеотид. Каждая цепь ДНК и представляет собой полинуклеотид, т. е. длинную цепь, в которой в строго определенном и для каждой ДНК всегда постоянном порядке следуют нуклеотиды. Достаточно переставить хотя бы один нуклеотид — и возникнет новая структура, с новыми свойствами. Произведем несложный подсчет. Молекулярная масса одного нуклеотида в среднем равна 330. Молекулярную массу одной цепи ДНК примем равной 10 млн. Отсюда следует, что такая цепь состоит из 30 000 нуклеотидов. Хотя в строении ДНК участвуют всего 4 нуклеотида, но при таком огромном их числе, входящем в каждую цепь ДНК, нетрудно представить себе, какое гигантское число изомеров ДНК может существовать.

Познакомимся теперь, как располагаются друг относительно друга цепи ДНК, когда образуется спираль, и какие силы удерживают цепи между собой.

На рисунке 72 изображен небольшой участок двойной спирали ДНК. Азотистые основания одной цепи располагаются точно

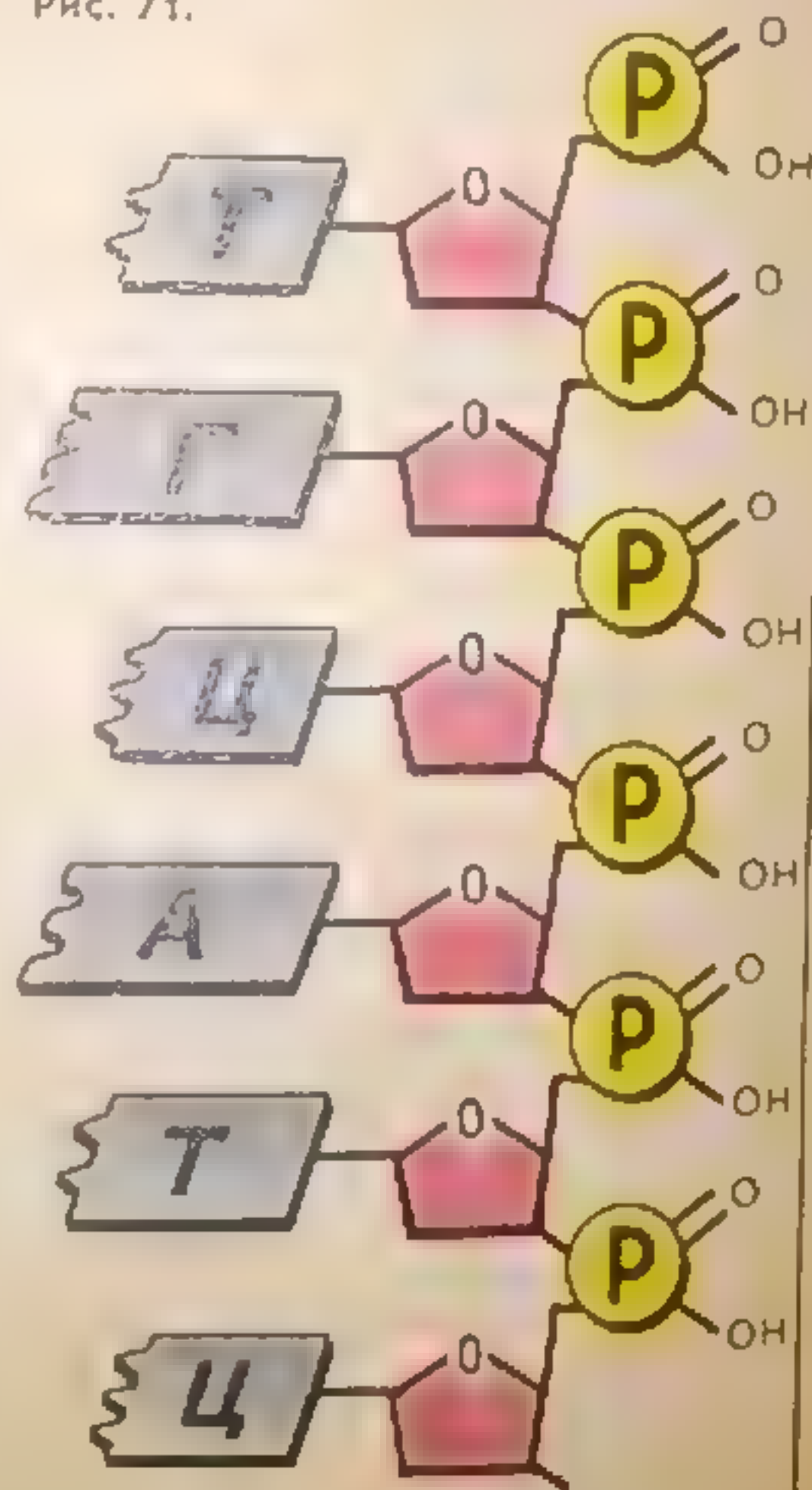
Азотистое основание	Название нуклеотида	Обозначение
Аденин	Адениновый	А
Гуанин	Гуаниновый	Г
Тимин	Тиминовый	Т
Цитозин	Цитозиновый	Ц



против азотистых оснований другой. Обратите внимание: в расположении противоположащих нуклеотидов нет ничего случайного: против А одной цепи оказывается всегда Т на другой цепи, а против Г только Ц на другой. Никаких других вариантов не бывает. Объясняется это тем, что в А и Т, так же как в Г и Ц, края молекул азотистых оснований соответствуют друг другу геометрически (как две половинки разбитого стекла), поэтому они могут тесно сблизиться друг с другом и образовать между собой водородные связи. При этом между Г и Ц образуются 3 водородные связи, а между А и Т только 2. Связь Г—Ц, таким образом, более прочная, чем А—Т. Понятно теперь, почему говорят, что в паре А—Т, а также в паре Г—Ц один нуклеотид дополняет другой. Слово «дополнение» на латинском языке — «комплемент». Принято поэтому говорить, что Г является комплементарным нуклеотидом к Ц, а Ц — комплементарным к Г; А — комплементарен к Т, и наоборот, Т комплементарен к А. Если на каком-нибудь участке цепи ДНК следуют один за другим нуклеотиды: А, Г, Г, Ц, Т, А, Ц, Ц, то на противоположащем участке другой цепи окажутся комплементарные к ним нуклеотиды: Т, Ц, Ц, Г, А, Т, Г, Г. Таким образом, если известен порядок следования нуклеотидов в одной цепи, то по принципу комплементарности сразу же выясняется порядок следования нуклеотидов в другой цепи.

Слабые связи, повторенные многократно, дают прочное соединение. Двойная спираль ДНК, «прошита» многочисленными «слабыми» водородными связями, образует структуру, с одной стороны, достаточно устойчивую, а с другой стороны, подвижную: она легко раскручивается и легко восстанавливает свою двутяжевую структуру. Почти вся ДНК содержится в ядре клетки. Содержание ДНК в ядрах отличается постоянством. В ядре любой клетки человека (кроме половых) содержится $6,6 \times 10^{-12}$ г ДНК, в ядрах половых клеток ДНК ровно вдвое меньше — $3,3 \times 10^{-12}$ г.

Рис. 71.



Соединение нуклеотидов в полинуклеотидную цепь.

Рис. 72.



Участок
Компле

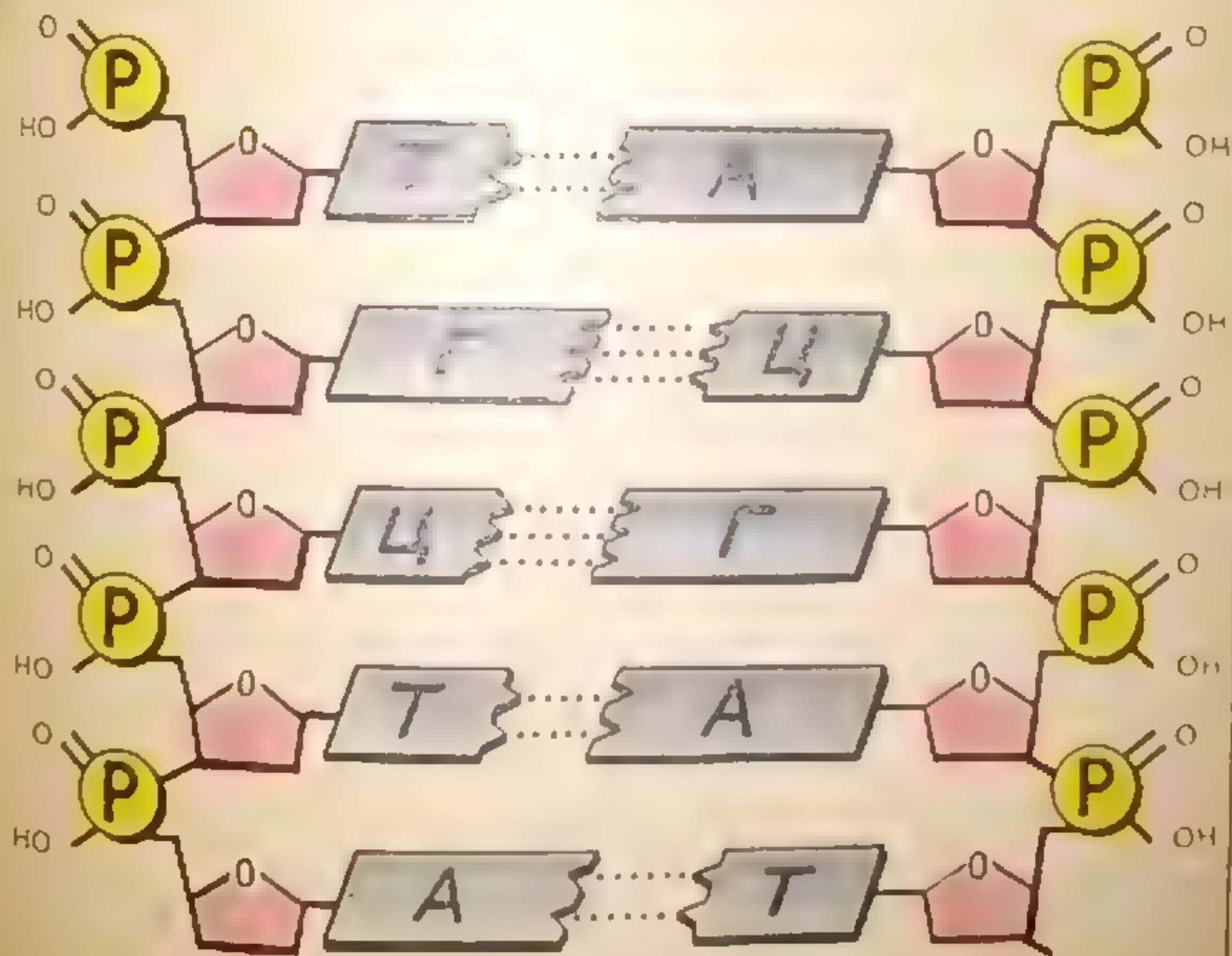
редупли
в основе с
новые моле
Этот си
ДНК к уд
свойств от
молекул Д
Как это
двутяжева
на каждой
ных нукле
идет в то
Против ка
вместо одн
же точно
процесс на

Редупликация ДНК. Принцип комплементарности, лежащий в основе структуры ДНК, позволяет понять, как синтезируются новые молекулы ДНК при делении клетки.

Этот синтез основан на замечательной способности молекулы ДНК к удвоению и лежит в основе передачи наследственных свойств от материнской клетки к дочерним. Процесс удвоения молекул ДНК происходит в клетке незадолго перед ее делением.

Как это происходит, показано на рисунке 73. Спиральная двукружная цепь ДНК начинает с одного конца расходиться, и на каждой цепи из находящихся в окружающей среде свободных нуклеотидов собирается новая цепь. Сборка новой цепи идет в точном соответствии с принципом комплементарности. Против каждого А встает Т, против Г — Ц и т. д. В результате вместо одной молекулы ДНК возникают две молекулы такого же точно нуклеотидного состава, как и первоначальная. Этот процесс называется репликацией, т. е. удвоением. Одна цепь

Рис. 72.



Участок структуры ДНК.
Комплементарное расположение нуклеотидов

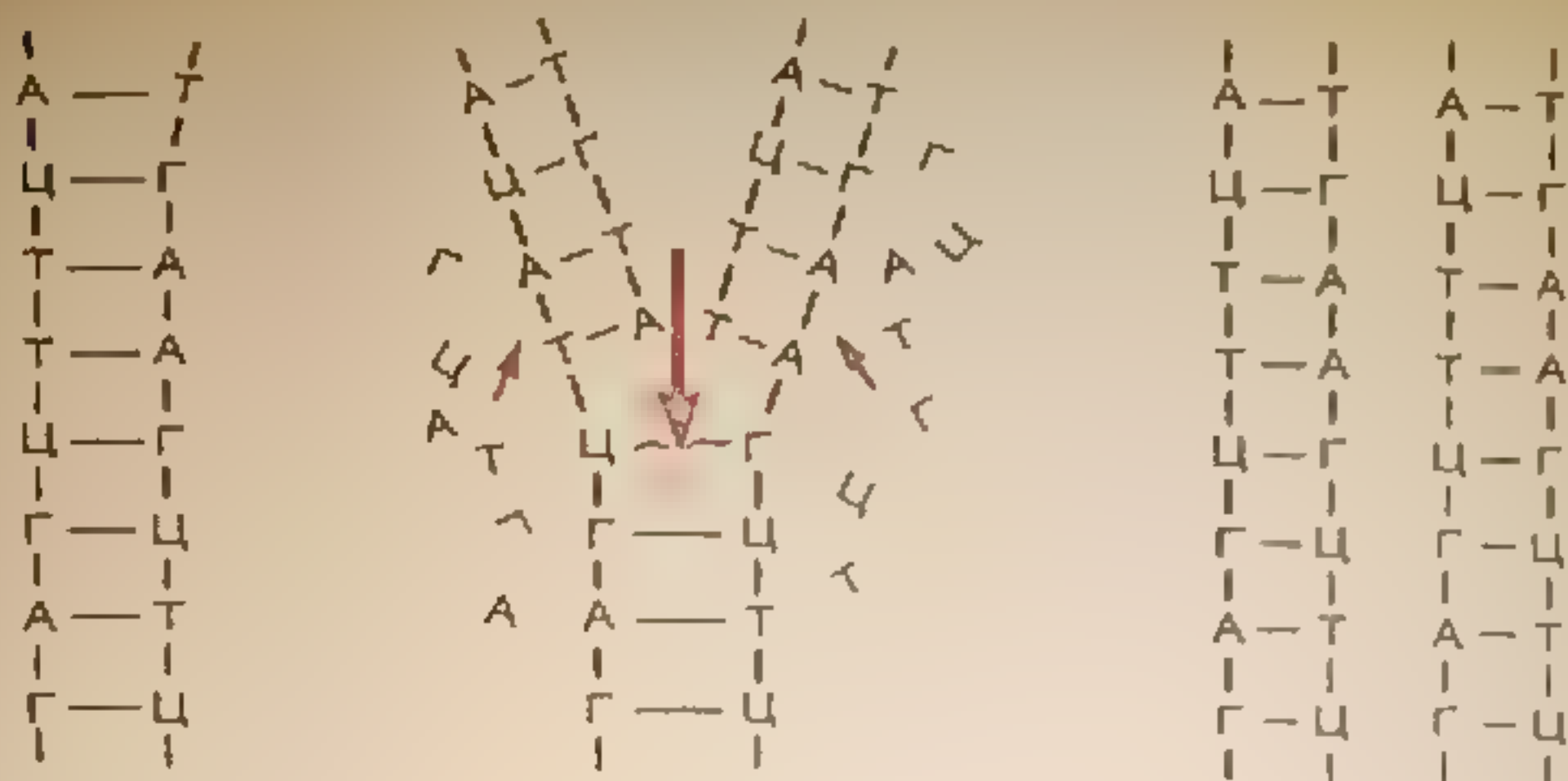


Рис. 73.
Схема редупликации ДНК.

в каждой вновь образовавшейся молекуле ДНК происходит из первоначальной молекулы, а другая синтезируется вновь.

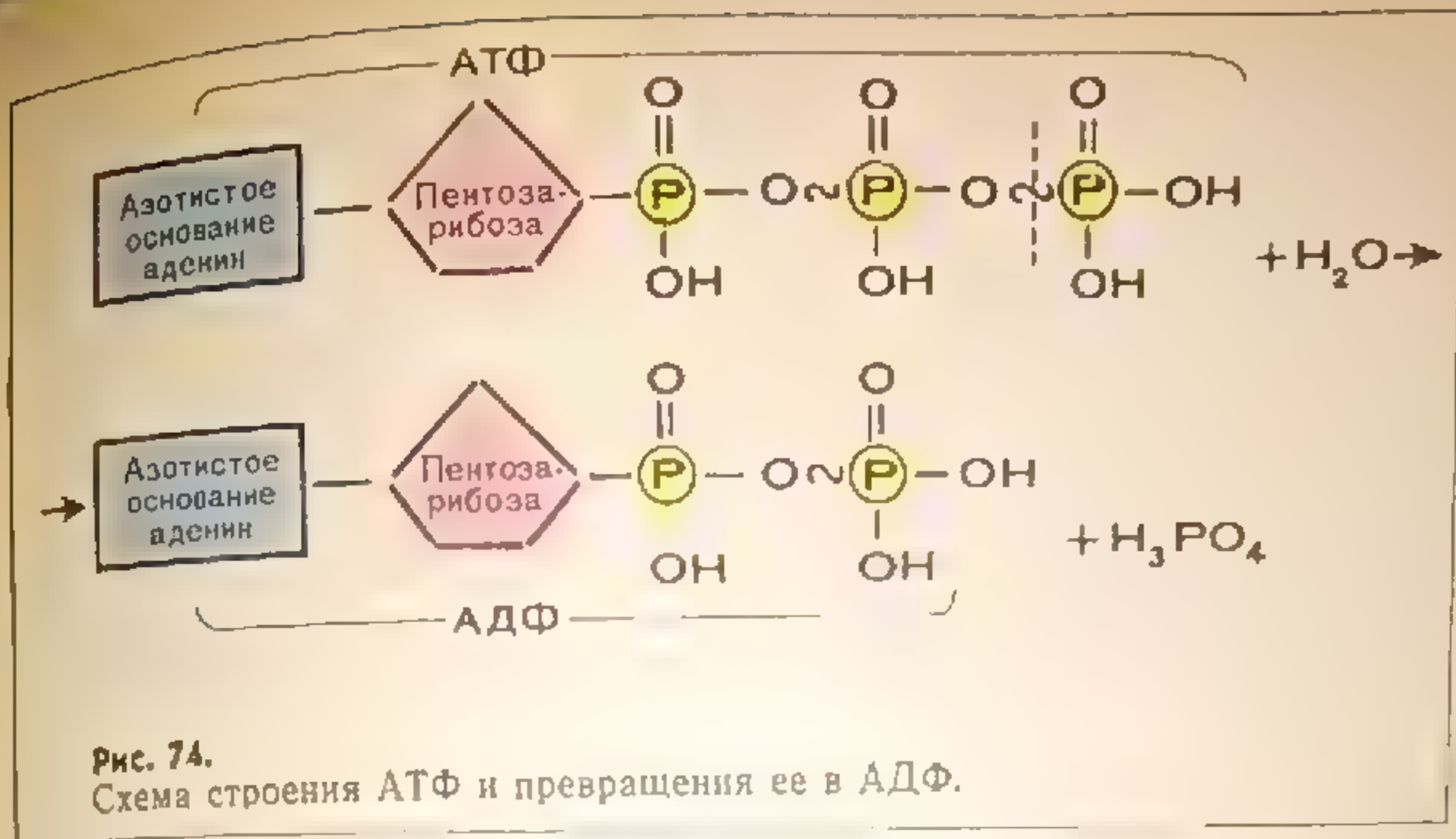
Синтез ДНК представляет собой ферментативный процесс. Он осуществляется в результате деятельности фермента ДНК — полимеразы. ДНК только задает порядок расположения нуклеотидов, а процесс редупликации осуществляет белок-фермент. Предполагается, что фермент как бы ползет вдоль длинной двутяжевой молекулы ДНК от одного конца до другого и позади себя оставляет раздвоенный «хвост» (рис. 73).

РНК. Существует несколько разных РНК. Они носят название в зависимости от выполняемой в клетке функции. Один вид РНК называется *транспортные РНК* (т-РНК), так как они транспортируют аминокислоты к месту синтеза белка. Другие РНК называются *информационными* (и-РНК): эти РНК переносят информацию о структуре белка, который должен синтезироваться.

Структура РНК очень сходна со структурой ДНК, однако есть и отличия. В структуре РНК нет двойной спирали, по своему строению она сходна с одной из цепей ДНК. РНК, как и ДНК, — полимер. Ее мономерами, так же как и у ДНК, служат нуклеотиды. Нуклеотиды РНК близки, хотя и не тождественны, нуклеотидам ДНК. Так же как и нуклеотиды ДНК, нуклеотиды РНК состоят из остатков азотистого основания, пентозы и фосфорной кислоты. Азотистые основания в трех нуклеотидах РНК такие же, как у ДНК (аденин, гуанин и цитозин). В четвертом нуклеотиде вместо тимина присутствует очень близкий к нему по строению урацил, и нуклеотид называется урациловым (У). Нуклеотиды РНК отличаются от нуклеотидов ДНК и по характеру углевода: в нуклеотидах ДНК углеводом является дезоксирибоза, а в РНК — рибоза. Характер соединения нуклеотидов при образовании цепей РНК такой же, как при образовании цепей ДНК: нуклеотиды сцепляются друг с другом ковалентными связями между рибозой одного нуклеотида и фосфорной кислотой соседнего.

Как
имеют
25—30
Их мол
держат
ся, ког
АТФ
лоты.
Количе
сырую
ся в с
АТФ
ней и
и фос
ную
обычн
молек
вая с
нием
освоб
лы в
ной
лоты.
кисл
ной
фосф
фосф
тичес
кулы
ти 40
другие
чительн
них да

рис.
Схе



Как уже сказано, существует несколько типов РНК. Т-РНК имеют самые короткие молекулы, их молекулярная масса всего 25—30 тыс. И-РНК по размерам гораздо больше, чем т-РНК. Их молекулярная масса колеблется от 100 000 до 1 000 000. Содержание РНК в клетке непостоянно. Оно сильно увеличивается, когда в клетках происходит интенсивный синтез белка.

АТФ. Это сокращенное название аденозинтрифосфорной кислоты. АТФ содержится в каждой клетке животных и растений. Количество АТФ колеблется и в среднем составляет 0,04% (на сырую массу клетки). Наибольшее количество АТФ содержится в скелетных мышцах — 0,2—0,5%. По химической структуре АТФ является нуклеотидом, и, как у всякого нуклеотида, в ней имеется азотистое основание (аденин), пентоза (рибоза) и фосфорная кислота. Однако в части, содержащей фосфорную кислоту, молекула АТФ имеет существенные отличия от обычных нуклеотидов. У нее в этой части скоонденсированы три молекулы фосфорной кислоты (рис. 74). Это очень неустойчивая структура. Самопроизвольно, а особенно легко под влиянием фермента в АТФ разрывается связь между Р и О, и к освободившимся связям присоединяется одна или две молекулы воды, причем отщепляется одна или две молекулы фосфорной кислоты. Если отщепляется одна молекула фосфорной кислоты, то АТФ переходит в АДФ, т. е. в аденозиндифосфорную кислоту (рис. 74); если же отщепляются две молекулы фосфорной кислоты, то АТФ переходит в АМФ, т. е. в аденозинмонофосфорную кислоту. Реакция отщепления каждой молекулы фосфорной кислоты от АТФ сопровождается большим энергетическим эффектом, а именно отщепление одной грамм молекулы фосфорной кислоты сопровождается освобождением почти 40 кдж (10 000 г·кал). Это очень большая величина. Все другие экзотермические реакции клетки сопровождаются значительно меньшим выходом энергии. Самые эффективные из них дают не более 8—10 кдж (2000—2500 г·кал). Чтобы под

черкнуть такую особенно высокую энергетическую эффективность фосфорнокислородной связи в АТФ, ее называют связью, богатой энергией, или макроэргической связью, и наличие такой связи обозначают не черточкой, как обычно, а знаком \sim . В АТФ имеются две макроэргические связи.

Значение АТФ в жизни клетки очень велико. Как мы увидим дальше, она играет центральную роль в клеточных превращениях энергии. АТФ в реакциях, как правило, теряет одну молекулу фосфорной кислоты и переходит в АДФ. Из АДФ же путем присоединения фосфорной кислоты снова синтезируется АТФ. Понятно, что эта реакция идет с поглощением энергии (40 кдж, или 10 000 г·кал) на грамм-моль.

- ? 1. Какие два типа нуклеиновых кислот обнаружены в клетке? В каких частях клетки они содержатся? 2. Какие нуклеотиды входят в состав ДНК? 3. В чем сущность принципа комплементарности? 4. Как осуществляется процесс редупликации ДНК перед делением клетки? 5. Фрагмент одной из цепей ДНК имеет следующий состав. Ц — А — Т — Г — Г — Ц — Т — А — Г. Укажите состав противолежащей цепи. 6. Какие нуклеотиды входят в состав РНК? 7. Какие типы РНК обнаружены в клетке? 8. Каково значение АТФ для жизнедеятельности клетки?

37. Обмен веществ и энергии в клетке

Для химических реакций, протекающих в клетке, характерны величайшая организованность и упорядоченность. каждая реакция протекает в строго определенном месте. Молекулы ферментов расположены в один слой на внутренних структурах — мембранах митохондрий и эндоплазматической сети, выстилающей их, как кафель стенку. При этом местоположение ферментов не случайно: они расположены в том порядке, в котором идут реакции. Мембраны клетки, выстланные молекулами ферментов, представляют своего рода «каталитический конвейер», на котором с исключительной точностью осуществляются химические реакции.

Пластический и энергетический обмен (ассимиляция и диссимиляция). В клетке обнаружена примерно тысяча ферментов. С помощью этого мощного каталитического аппарата осуществляется сложнейшая и многообразная химическая деятельность. Из громадного числа химических реакций клетки выделяются два противоположных по характеру типа реакций. Первый из них представляет реакции синтеза. В клетке постоянно идут процессы созидания. Из простых веществ образуются более сложные, из низкомолекулярных — высокомолекулярные. Синтезируются белки, сложные углеводы, жиры, нуклеиновые кислоты. Синтезированные вещества используются для построения разных частей клетки, ее органоидов, секретов, ферментов, запасных веществ. Синтетические реакции особенно интенсивно идут в растущей клетке, но и у вполне взрослой, т. е. закончившей рост и развитие, клетки постоянно происходит синтез веществ для замены молекул, израсходованных и износившихся

в процессе функционирования или разрушенных при повреждении. На место каждой разрушенной молекулы белка или какого-нибудь другого вещества встает новая молекула. Таким путем клетка сохраняет постоянной свою форму и химический состав, несмотря на непрерывное их изменение в процессе жизнедеятельности.

Синтез веществ, идущий в клетке, называется биологическим синтезом или сокращенно биосинтезом.

Все реакции биосинтеза идут с поглощением энергии

Совокупность реакций биосинтеза называется пластическим обменом или ассимиляцией. Первое слово происходит от греческого «пластикос», что значит скульптурный. Так же как скульптор из глины или мрамора лепит (высекает) изваяние, так из веществ, синтезированных в процессе биосинтеза, клетка создает свое тело. Второе слово (ассимиляция) происходит от латинского «симилитис» (сходный, подобный). Смысл этого термина состоит в том, что поступающие в клетку из внешней среды пищевые вещества, резко отличающиеся от веществ клетки, в результате химических превращений становятся подобными веществам клетки.

Второй тип химических реакций клетки — реакции расщепления. Сложные вещества распадаются на более простые, высокомолекулярные — на низкомолекулярные. Белки распадаются на аминокислоты, крахмал — на глюкозу. Эти вещества расщепляются на еще более низкомолекулярные соединения, и в конце концов образуются совсем простые, бедные энергией вещества: CO_2 и H_2O . Реакции расщепления в большинстве случаев сопровождаются выделением энергии. Биологическое значение этих реакций состоит в обеспечении клетки энергией, необходимой для ее деятельности. Любая форма активности — движение, секреция, биосинтез и др. — нуждается в затрате энергии, которая черпается из энергии, освобождаемой в результате химических реакций расщепления.

Совокупность реакций расщепления называется энергетическим обменом клетки или диссимиляцией. Диссимиляция прямо противоположна ассимиляции: в результате расщепления вещества утрачивают сходство с веществами клетки.

Пластический и энергетический обмены (ассимиляция и диссимиляция) находятся между собой в неразрывной связи. Связь эта состоит в том, что, с одной стороны, реакции биосинтеза нуждаются в затрате энергии, которая черпается из реакций расщепления. С другой стороны, для осуществления реакций энергетического обмена необходим постоянный биосинтез обслуживающих эти реакции ферментов, так как в процессе своей работы они изнашиваются и разрушаются.

Обмен веществ и энергии. Сложные системы реакций, составляющие процесс пластического и энергетического обмена, тесно связаны не только между собой, но и с внешней средой. Из внешней среды в клетку поступают пищевые вещества, которые служат материалом для реакций пластического обмена,

а в реакциях расщепления из них освобождается энергия, необходимая для функционирования клетки. Во внешнюю же среду выделяются продукты, которые клеткой более не могут быть использованы.

Совокупность всех ферментативных реакций клетки, т. е. совокупность пластического и энергетического обменов (ассимиляции и диссимиляции), связанных между собой и с внешней средой, называется обменом веществ и энергии. Этот процесс является основным условием поддержания жизни клетки, источником ее роста, развития и функционирования.

АТФ как единое и универсальное энергетическое вещество. Любое проявление жизнедеятельности, любая функция клетки требуют затраты энергии. Энергия нужна для движения, для биосинтетических реакций и различных других форм клеточной активности.

Каким же образом энергия реакций расщепления используется клеткой для различных ее функций?

Любая деятельность клетки всегда точно совпадает во времени с распадом АТФ.

При усиленной, но кратковременной работе, например при беге на короткую дистанцию, мышца работает почти исключительно за счет содержащейся в ней АТФ. При усиленной секреции в секреторных клетках также идет интенсивное расщепление АТФ. При синтезе сложных веществ, например при синтезе сложных углеводов или белка, одновременно с синтетической реакцией идет распад АТФ. Отсюда следует, что непосредственным источником энергии и для сокращения мышц, и для секреции, и для синтеза сложных соединений в клетке является энергия, освобождающаяся при расщеплении АТФ. Так как запас АТФ в клетке ограничен, то ясно, что после распада АТФ должно произойти ее восстановление. Так оно в действительности и происходит. В этом и заключается биологический смысл остальных реакций энергетического обмена. Функция этих реакций одна: их энергия используется для восполнения убыли АТФ (рис. 75). Понятно поэтому, что при длительной работе содержание АТФ в клетке существенно не изменяется. Это объясняется тем, что реакции расщепления углеводов и других веществ обеспечивают быстрое и полное восстановление израсходованной АТФ. Таким образом, АТФ — единый и универсальный источник энергии для функциональной деятельности клетки. Отсюда понятно, что возможна передача энергии из одних частей клетки в другие. Синтез АТФ может происходить в одном месте клетки и в одно время, а использоваться она может в другом месте и в другое время. Синтез АТФ в основном происходит в митохондриях клетки. Образовавшаяся здесь АТФ по каналам эндоплазматической сети направляется в те места клетки, где возникает потребность в энергии.

Три этапа энергетического обмена. Для изучения энергетического обмена клетки его удобно разделить на 3 последова-

рис. 75.



ТАТАТОКЫНО
МОЩНОСТЬ

тельных
клетки.

Перев

лекулы у
даются н
коза, из
аминокис
веществ
тическим
рассеива

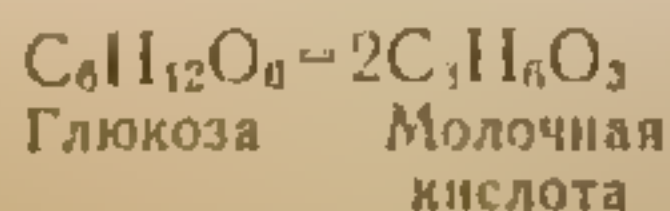
Второ
ным или
ном этап
кислоты
сложный
дующих
обслужи
ных мем
вый фер
второй с
быстрое
примере
ет специ
собой со
тивных р
разуются
дельных
фермент
две моле
лиза дол



тельных этапа. Рассмотрим эти этапы на примере животной клетки.

Первый этап подготовительный. На этом этапе крупные молекулы углеводов, жиров, белков, нуклеиновых кислот распадаются на небольшие молекулы: из крахмала образуется глюкоза, из жиров — глицерин и жирные кислоты, из белков — аминокислоты, из нуклеиновых кислот — нуклеотиды. Распад веществ на этом этапе сопровождается незначительным энергетическим эффектом. Вся освобождающаяся при этом энергия рассеивается в виде тепла.

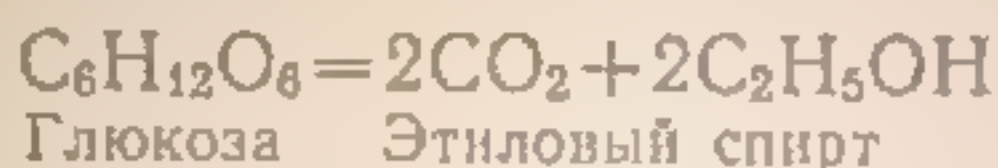
Второй этап энергетического обмена называется бескислородным или неполным. Вещества, образовавшиеся в подготовительном этапе, — глюкоза, глицерин, органические кислоты, аминокислоты и др. — вступают на путь дальнейшего распада. Это сложный, многоступенчатый процесс. Он состоит из ряда следующих одна за другой ферментативных реакций. Ферменты, обслуживающие этот процесс, расположены на внутриклеточных мембранах правильными рядами. Вещество, попав на первый фермент этого ряда, передвигается, как на конвейере, на второй фермент, далее на третий и т. д. Это обеспечивает быстрое и эффективное течение процесса. Разберем его на примере бескислородного расщепления глюкозы, которое имеет специальное название — гликолиз. Гликолиз представляет собой совокупность более десятка последовательных ферментативных реакций. В нем принимают участие 13 ферментов и образуются 12 промежуточных вещества. Не останавливаясь на отдельных реакциях гликолиза, укажем, что на первую ступень ферментного конвейера вступает глюкоза, а с последней сходят две молекулы молочной кислоты. Суммарное уравнение гликолиза должно быть записано так:



Процесс гликолиза происходит у всех животных клеток и у некоторых микроорганизмов. Всем известное молочнокислое брожение (при скисании молока) вызывается молочнокислыми грибами и бактериями. По механизму оно вполне тождественно гликолизу. Спиртовое брожение тоже сходно с гликолизом. Большая часть реакций гликолиза и брожение совпадают полностью. Различие состоит лишь в заключительной стадии: при гликолизе процесс заканчивается образованием молочной кислоты, а при брожении добавляется еще одно звено. Из молочной кислоты под влиянием фермента, содержащегося в дрожжах, выделяется CO_2 и образуется этиловый спирт:



Таким образом, суммарное уравнение спиртового брожения должно быть записано так:



Как видно из уравнений гликолиза и брожения, в этих процессах кислород не участвует, почему они и называются бескислородными процессами. Вполне ясно также, почему эти процессы называются неполными: полным расщеплением глюкозы будет разрушение ее до конца, т. е. превращение ее в простейшие соединения (CO_2 и H_2O), что соответствует уравнению:



Почти все промежуточные реакции при бескислородном расщеплении глюкозы идут с освобождением энергии. Каждая отдельная реакция дает небольшой выход энергии, а в сумме получается немалая величина: расщепление одной грамм-молекулы глюкозы (180 г) на две грамм-молекулы молочной кислоты дает почти 200 кдж (50 000 г·кал). Если бы энергия, освобождающаяся при превращении глюкозы в молочную кислоту, освободилась сразу, в результате одной реакции, то это привело бы к опасному перегреву и повреждению клетки. Разделение же процесса на ряд промежуточных звеньев обуславливает постепенное выделение энергии, что предохраняет клетку от теплового повреждения.

Процесс гликолиза идет только в присутствии АТФ и АДФ, так как оба эти нуклеотида являются обязательными участниками происходящих реакций. АТФ необходима в начале гликолиза, АДФ — в конце. АТФ фосфорилирует глюкозу: передавая глюкозе остаток фосфорной кислоты, АТФ при этом переходит в АДФ. АДФ обеспечивает обратный процесс: дефосфорилирование промежуточных продуктов гликолиза. Присоединяя остаток фосфорной кислоты, АДФ превращается в АТФ. В конце гликолиза АТФ всегда образуется больше, чем ее тратится в начале. В ходе расщепления одной молекулы глюкозы происходит образование двух новых молекул АТФ.

Таким образом, в итоге процесса гликолиза АТФ всегда накапливается.

Так как синтез АТФ представляет эндотермический процесс, то очевидно, что энергия для синтеза АТФ черпается за счет энергии реакций бескислородного расщепления глюкозы. Следовательно, энергия, освобождающаяся в ходе реакций гликолиза, не вся переходит в тепло. Часть ее идет на синтез двух богатых энергией фосфатных связей.

Произведем несложный расчет: всего в ходе бескислородного расщепления грамм-молекулы глюкозы освобождается 200 кдж (50 000 г·кал). На образование одной связи, богатой энергией, при превращении грамм-молекулы АДФ в АТФ затрачивается 40 кдж (10 000 г·кал). В ходе бескислородного расщепления образуются две такие связи. Таким образом, в энергию двух грамм-молекул АТФ переходит 2×40 кдж ($2 \times 10\,000 = 20\,000$ г·кал). Итак, из 200 кдж (50 000 г·кал) только 80 (20 000) сберегаются в виде АТФ, а 120 (30 000) рассеиваются в виде тепла. Следовательно, в ходе бескислородного расщепления глюкозы 40% энергии сберегается клеткой.

Третий этап энергетического обмена — стадия кислородного, или полного, расщепления, или дыхания. Продукты, возникшие в предшествующей стадии (молочная кислота), окисляются до конца, т. е. до CO_2 и H_2O .

Основное условие осуществления этого процесса — наличие в окружающей среде кислорода и поглощение его клеткой. Стадия кислородного расщепления, как и предыдущая стадия бескислородного расщепления, представляет собой ряд последовательных ферментативных реакций. Каждая реакция катализируется особым ферментом.

Весь ферментативный ряд кислородного расщепления сосредоточен в митохондриях, где ферменты расположены на мембранах правильными рядами. Сущность каждой из реакций состоит в окислении органической молекулы, которая с каждой ступенью постепенно разрушается и превращается в конечные продукты окисления: CO_2 и H_2O .

Все промежуточные реакции кислородного расщепления, как и промежуточные реакции бескислородного процесса, идут с освобождением энергии. Количество энергии, освобождаемой на каждой ступени при кислородном процессе, однако, много больше, чем на каждой ступени бескислородного процесса. В сумме кислородное расщепление дает громадную величину — 2600 кдж (650 000 г·кал) (на две грамм-молекулы молочной кислоты). Если бы при расщеплении содержащейся в клетке молочной кислоты вся энергия освободилась в результате одной реакции, клетка подверглась бы тепловому повреждению. При рассредоточении же процесса на ряд промежуточных звеньев такой опасности нет.

Подробное исследование стадии кислородного расщепления показало, что в ней, как и в бескислородном процессе, происходит образование АТФ из АДФ. В ходе кислородного расщеп

...ения двух молекул молочной кислоты синтезируются 36 молекул АТФ, т. е. 36 богатых энергией фосфатных связей.

Теперь должно быть ясным значение третьей стадии энергетического обмена — кислородного расщепления молочной кислоты. Если в ходе бескислородного расщепления молочной кислоты освобождается еще 2600 кдж (650 000 г·кал). Если в ходе бескислородного процесса синтезируются две молекулы АТФ, то в процессе кислородного расщепления синтезируется еще 36 молекул АТФ. Иными словами, на стадии кислородного расщепления образуется свыше 90% энергии, получаемой клеткой в процессе расщепления глюкозы.

Займемся снова расчетом. Всего в процессе расщепления глюкозы до CO_2 и H_2O , т. е. в ходе процессов бескислородного и кислородного расщепления, синтезируется $2 + 36 = 38$ молекул АТФ. Таким образом, в потенциальную энергию АТФ переходит $38 \times 40 = 1520$ кдж ($38 \times 10\,000 = 380\,000$ г·кал). Всего же при расщеплении глюкозы (в бескислородную и кислородную стадии) освобождается $200 + 2600 = 2800$ кдж ($50\,000 + 650\,000 = 700\,000$ г·кал). Следовательно, почти 55% всей энергии, освобождаемой при расщеплении глюкозы, сберегается клеткой в форме АТФ. Остальная часть (45%) рассеивается в виде тепла. Чтобы оценить значение этих цифр, вспомним, что в паровых машинах из энергии, освобождаемой при сгорании угля, в полезную форму преобразуется не более 12—15%. В лучших турбинах этот процент повышается до 20—25. В двигателях внутреннего сгорания он достигает примерно 35%. Таким образом, по эффективности преобразования энергии живая клетка превосходит все известные преобразователи энергии в технике.

При сопоставлении количества энергии, освобождаемой в ходе бескислородного и кислородного расщепления глюкозы, а также числа молекул АТФ, синтезируемых в обе стадии, видно, что кислородный процесс несравненно более эффективен, чем бескислородный. В стадии бескислородного расщепления освобождается примерно $1/20$ часть энергии, освобождающейся при кислородном процессе. Вполне понятно поэтому, что в нормальных условиях для мобилизации энергии в клетке всегда используется как бескислородный, так и кислородный путь расщепления. Если осуществление кислородного процесса затруднено или вообще невозможно, например при недостатке кислорода, то для поддержания жизни остается только бескислородный процесс. Но при этом для получения АТФ в количестве, необходимом для жизнедеятельности, клетке приходится расщеплять очень большое количество глюкозы.

Дыхание и горение. Расщепление органических веществ, происходящее в клетке, часто сравнивают с горением: в обоих случаях происходит поглощение кислорода и выделение продуктов окисления — CO_2 и H_2O . Однако состав продуктов горения определен и постоянен, он меняется в зависимости от соотношения окисляемого вещества и кислорода, зависит

температуры и других условий. Дыхание же происходит в результате высокоупорядоченного процесса, ряда последовательных ферментативных реакций. Образование CO_2 при горении происходит в результате прямого присоединения кислорода к углероду, а при биологическом окислении CO_2 возникает путем расщепления органических кислот под влиянием ферментов.

Таким образом, вполне ясно, что между процессами горения и биологического окисления существует глубокое, принципиальное различие.

- ? 1. Охарактеризуйте два противоположных потока химических реакций в процессе обмена веществ клетки. 2. Охарактеризуйте стадии энергетического обмена клетки. 3. Какое значение для клетки имеет процесс кислородного расщепления? Напишите суммарное уравнение процесса дыхания. 4. Сравните энергетику процессов гликолиза и дыхания. 5. Укажите различия между процессами горения и клеточного дыхания. 6. Почему АТФ называют универсальным энергетическим веществом клетки?

38. Автотрофные и гетеротрофные клетки. Фотосинтез. Хемосинтез

Автотрофные клетки. По способу получения органических соединений все клетки делятся на две группы. Одна группа клеток способна синтезировать органические вещества из неорганических соединений (CO_2 и H_2O и т. д.). Из этих бедных энергией соединений клетки синтезируют глюкозу, аминокислоты, а затем и более сложные органические соединения: сложные углеводы, белки и т. д. Клетки, способные синтезировать органические соединения из неорганических, называются автотрофными или автотрофами. Главными автотрофами на Земле являются клетки зеленых растений. Автотрофное питание присуще также небольшой группе микроорганизмов.

Гетеротрофные клетки. Другая группа клеток не способна синтезировать органические вещества из неорганических соединений. Эти клетки нуждаются в доставке уже готовых органических соединений. Животные поедают других животных и растения и получают с пищей готовые углеводы, жиры, белки. В ходе жизнедеятельности происходит расщепление этих веществ. Из части освободившихся при этом веществ — глюкозы, аминокислот и др. — синтезируются более сложные, присущие данной клетке вещества: гликоген, жиры, белки, другая часть расщепляется, и освобождающаяся при этом энергия используется для жизнедеятельности.

Клетки, не способные к синтезу органических соединений из неорганических веществ и нуждающиеся поэтому в доставке готовых органических веществ извне, называются гетеротрофными клетками или гетеротрофами. Клетки всех животных, человека, большинства микроорганизмов, а также некоторых растений (например, грибов) являются гетеротрофами.

Фотосинтез. Синтез органических соединений из простых, бедных энергией веществ нуждается в притоке энергии извне. Зеленые растения используют для этой цели световую энергию Солнца. Растительные клетки обладают специальным механизмом, позволяющим им преобразовывать световую энергию в энергию химических связей. Этот процесс называется фотосинтезом.

Процесс фотосинтеза выражается следующим суммарным уравнением:



В ходе этого процесса вещества, бедные энергией (CO_2 и H_2O), переходят в углевод — сложное богатое энергией органическое вещество. В результате фотосинтеза выделяется также молекулярный кислород.

Суммарное уравнение фотосинтеза не дает представления о его механизме. Это сложный, многоступенчатый процесс. Центральная роль в нем принадлежит хлорофиллу — органическому веществу зеленого цвета.

В зеленых листьях содержится примерно 1% хлорофилла от сухого веса. Хлорофилл растворяется в спирте, и его можно извлечь настаиванием листьев в спирте. Раствор хлорофилла имеет зеленый цвет и флуоресцирует.

Флуоресценция хлорофилла в растворе объясняется тем, что электроны в молекуле хлорофилла поглощают световую энергию, в результате они покидают орбиту, соответствующую их исходному состоянию, и перескакивают на высшую орбиту, соответствующую их «возбужденному» состоянию. Затем электроны возвращаются обратно на свою первоначальную орбиту, и при этом переходе они отдают поглощенную ими энергию в виде света флуоресценции. Хлорофилл в растворе не способен запасать энергию света. Другая картина наблюдается в клетке, где молекулы хлорофилла встроены в структуру хлоропласта и находятся в соединении с молекулами ферментов, липондов и других веществ. Хлорофилл в зеленом листе при освещении не флуоресцирует. Поглощенная хлорофиллом энергия света здесь не рассеивается, а преобразуется в энергию химических связей.

Для того чтобы разобраться в механизме этого преобразования, обратимся к схеме фотосинтеза (рис. 76).

Процесс фотосинтеза начинается с освещения хлоропласта видимым светом. Фотон «ударяет» в электрон молекулы хлорофилла, сообщает ему энергию, и электрон переходит в «возбужденное» состояние: он покидает основную орбиту и перескакивает на высшую орбиту. После этого он сразу же падает обратно. При этом избыточная энергия электрона частично переходит в тепло (около 25%), а большей частью передается соединениям, находящимся в клетке, вызывая их превращения.

Часть «падающих» электронов захватывается ионами водорода. В клетке всегда имеется некоторое количество H^+ и OH^-



Рис

ионо
в дис

Ион
водо

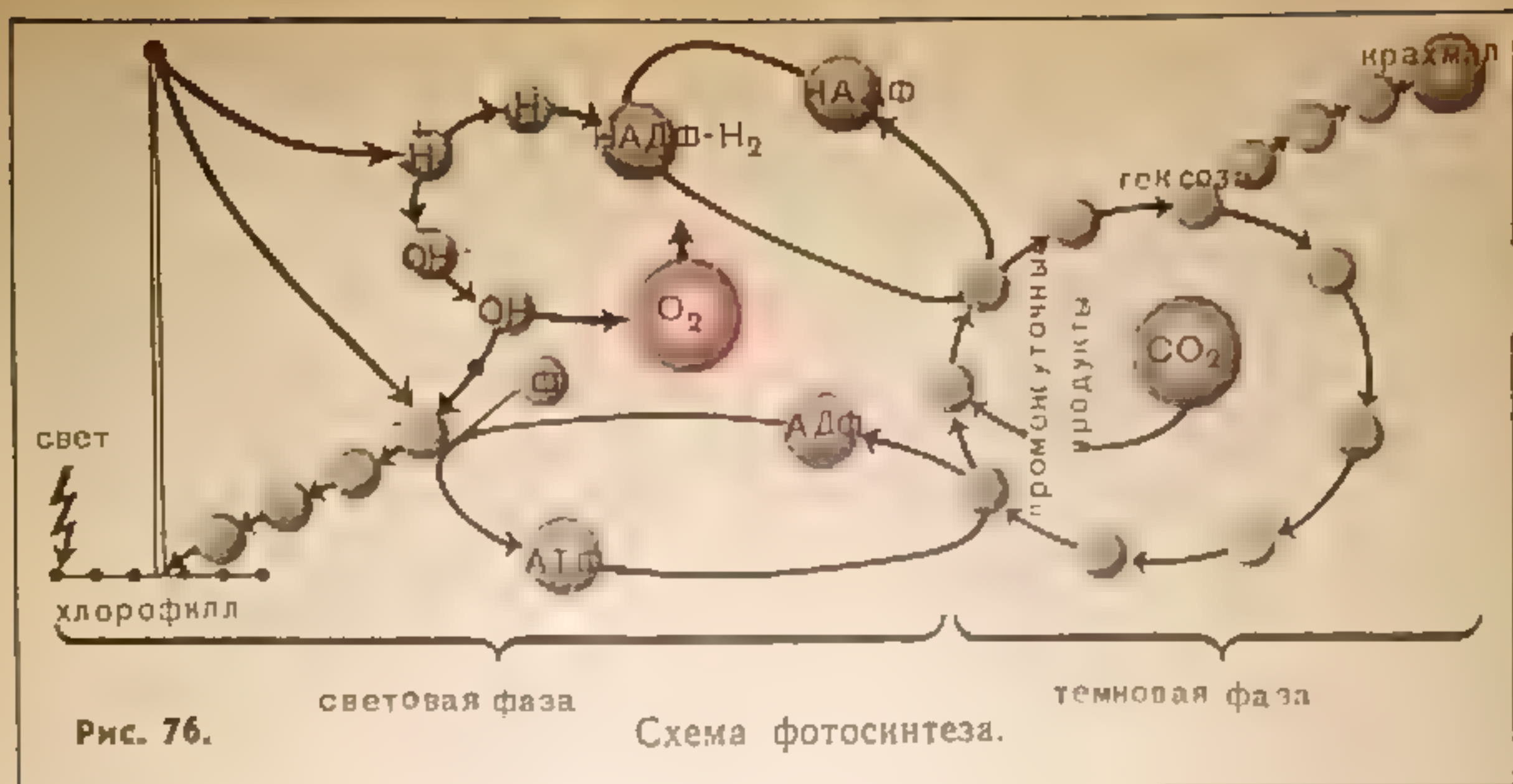
Ион
но ж
прев

Своб
ноше
орга
ответ
нукл
житс
ленн

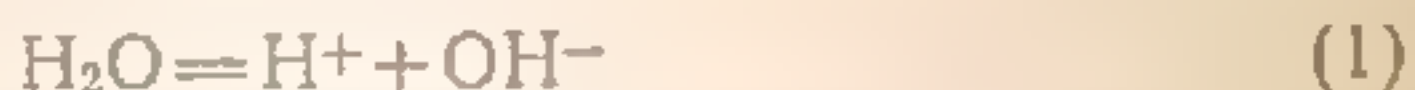
Своб
чем
сфер

Прос

Таки
тосин
ды. Э
лиз в
пуска
дород



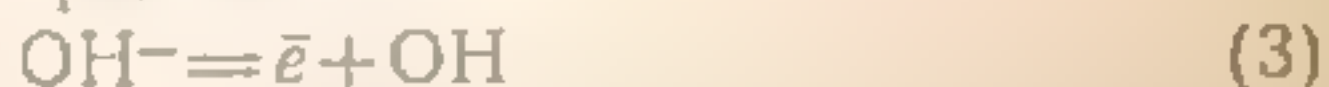
ионов, так как в водном растворе часть молекул воды находится в диссоциированном состоянии:



Ион водорода присоединяет электрон и превращается в атом водорода:



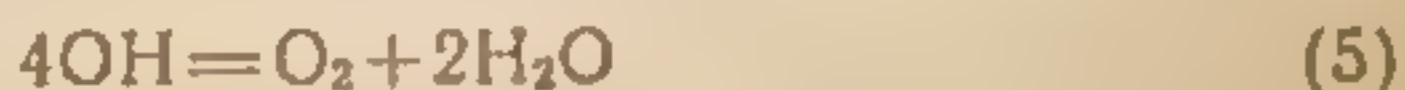
Ион гидроксила, оставшийся без своего противоиона, немедленно же передает свой электрон другим молекулам или ионам и превращается в свободный радикал $\text{OH}\cdot$:



Свободные атомы водорода и $\text{OH}\cdot$ -радикалы в химическом отношении весьма активны. Атомы водорода присоединяются к органическому веществу, имеющему сложную структуру и соответственно довольно громоздкое название: никотинамиддинуклеотидфосфат (сокращенно НАДФ). НАДФ всегда содержится в клетке; присоединив водород, он переходит в восстановленную форму:



Свободные $\text{OH}\cdot$ -радикалы взаимодействуют друг с другом, причем образуется молекулярный кислород, выделяющийся в атмосферу, и вода:



Просуммировав реакции 1, 2, 3 и 5, получим:



Таким образом, молекулярный кислород, образующийся при фотосинтезе, возникает в результате разложения (фотолиза) воды. Это неферментативный процесс. По своему механизму фотолиз воды сходен с электролизом воды. Вспомните, что при пропускании электрического тока через водный раствор ионы водорода получают электроны от катода и превращаются в ато-

мы водорода (если бы в растворе находился НАДФ, он присоединил бы эти атомы водорода и перешел в НАДФ·Н₂), а ОН-ионы, отдав электроны аноду, превращаются в свободные ОН-радикалы, из которых образуется молекулярный кислород и вода.

Энергия другой части «падающих» электронов, а также электронов, отделяющихся от ионов гидроксила и обладающих еще некоторым запасом энергии, преобразуется в энергию макроэргической фосфатной связи: из АДФ (всегда присутствующей в клетке) и неорганического фосфата (Ф) синтезируется АТФ:



Таким образом, избыточная энергия возбужденных электронов при переходе их в исходное состояние порождает три процесса:

1. Фотолиз воды с образованием молекулярного кислорода.
2. Восстановление НАДФ с образованием НАДФ·Н₂.
3. Синтез АТФ.

Эти реакции идут только на свету. Их осуществление является непосредственным результатом поглощения хлорофиллом лучистой энергии. Поэтому данная стадия фотосинтеза называется световой фазой. Дальнейшие синтетические процессы фотосинтеза протекают как на свету, так и в темноте. Поэтому комплекс этих реакций называется темновой фазой.

Темновая фаза фотосинтеза представляет собой ряд последовательных ферментативных реакций. В осуществлении этих реакций принимают участие синтезированные в световую фазу АТФ и НАДФ·Н₂. Центральное место среди реакций темновой фазы занимает реакция связывания углекислоты: СО₂ диффундирует в лист из атмосферы и включается в состав одного из промежуточных соединений. В конечном итоге образуются углеводы — сначала моносахариды, затем ди- и полисахариды.

Итак, в световую фазу фотосинтеза световая энергия Солнца преобразуется в энергию химических связей НАДФ·Н₂ и АТФ. В темновую фазу энергия этих веществ (НАДФ·Н₂ и АТФ) расходуется на синтез углеводов.

Процесс фотосинтеза представляет основной механизм, при помощи которого зеленые растения производят органические вещества. Все вещества растения, любая его «урожайная» часть — плоды, семена, корнеплоды, древесина и т. д. — образуются из веществ, порожденных в результате фотосинтетической активности его клеток.

Продуктивность фотосинтеза составляет примерно 1 г органических веществ на 1 м² площади листьев в 1 час. Таким образом, при прочих равных условиях урожай тем выше, чем больше поверхность листьев выросших растений и чем дольше они функционируют как фотосинтетические системы.

В изучение роли света и хлорофилла в процессе усвоения СО₂ при фотосинтезе большой вклад внес крупнейший русский ученый К. А. Тимирязев. Тимирязеву принадлежат и непревзой-

денные работы по популяризации знаний по фотосинтезу, о котором он писал так: «Это процесс, от которого в конечной инстанции зависят все проявления жизни на нашей планете». Это вполне обоснованное утверждение, так как фотосинтез не только основной поставщик органических соединений, но и единственный источник свободного кислорода на Земле.

Растительные клетки, как и все другие клетки, постоянно дышат, т. е. поглощают кислород и выделяют CO_2 . Днем же наряду с дыханием с помощью хлорофиллсодержащего механизма растительные клетки преобразуют световую энергию в химическую: они синтезируют органические вещества. При этом в качестве побочного продукта реакции выделяется молекулярный кислород. Количество кислорода, выделяемого растительной клеткой в процессе фотосинтеза, в 20—30 раз больше, чем поглощение его в одновременно идущем процессе дыхания. Понятно поэтому, что днем, когда растения и дышат, и фотосинтезируют, они обогащают воздух кислородом, а ночью, когда фотосинтез прекращается, они только дышат, т. е. поглощают кислород и выделяют углекислоту.

Хемосинтез. Кроме клеток зеленых растений, автотрофность свойственна также некоторым бактериям, у которых нет хлорофилла. Способ, с помощью которого они мобилизуют энергию для синтетических реакций, совершенно иной, нежели у растительных клеток. Этот тип автотрофов был открыт русским ученым-микробиологом С. Н. Вавиловым. Для синтезов бактерии используют энергию химических реакций. Они обладают специальным ферментным аппаратом, позволяющим им преобразовывать энергию химических реакций, в частности энергию реакций окисления неорганических веществ, в химическую энергию синтезируемых органических соединений. Этот процесс называется *хемосинтезом*.

Наиболее известные автотрофы-хемосинтетрики — нитрифицирующие бактерии. Источником энергии у одной группы этих бактерий служит реакция окисления аммиака в азотистую кислоту; другая группа нитрифицирующих бактерий использует энергию, выделяющуюся при окислении азотистой кислоты в азотную. Автотрофами-хемосинтетиками являются железобактерии и серобактерии. Первые из них используют энергию, выделяющуюся при окислении двухвалентного железа в трехвалентное, вторые окисляют сероводород до серной кислоты.

Роль автотрофов-хемосинтетиков очень велика, особенно нитрифицирующих бактерий. Они имеют важное значение для повышения урожайности, так как в результате их жизнедеятельности азот, находящийся в свободном состоянии или в виде соединений, недоступных для усвоения растениями, превращается в соли азотной кислоты, которые хорошо ими усваиваются.

- ? 1. Какие клетки относятся к автотрофам, к гетеротрофам? 2. Напишите суммарное уравнение фотосинтеза и охарактеризуйте его основные этапы. 3. Что называется хемосинтезом?

39. Биосинтез белков

Любая живая клетка способна синтезировать белки, и эта способность представляет одно из наиболее важных и характерных ее свойств. С особенной энергией идет биосинтез белков в период роста и развития клеток. В это время активно синтезируются белки для построения клеточных органелл, мембран. Синтезируются ферменты и белки. Биосинтез белков идет интенсивно и у многих взрослых, т. е. закончивших рост и развитие клеток, например у клеток пищеварительных желез, синтезирующих белки-ферменты (пепсин, трипсин) или у клеток желез с внутренней секрецией, синтезирующих белки-гормоны (инсулин, тироксин). Способность к синтезу белков присуща, впрочем, не только растущим или секреторным клеткам: любая клетка в течение всей жизни постоянно синтезирует белки, так как в ходе нормальной жизнедеятельности молекулы белков постепенно изнашиваются, структура и функции их нарушаются. Такие пришедшие в негодность молекулы белков удаляются из клетки. Взамен синтезируются новые полноценные молекулы, состав и деятельность клетки не нарушаются.

Любая клетка по внешнему виду и по свойствам похожа на материнскую. Так как свойства клетки зависят от ее белков, то ясно, что клетка способна синтезировать белки такие же, какие синтезировала материнская клетка. Следовательно, способность к синтезу белка передается по наследству от клетки к клетке и сохраняется ею в течение всей жизни.

Вопросы о том, как происходит синтез столь большой и сложной молекулы белка, как отбираются нужные аминокислоты, расставляются и соединяются в определенном и строгом порядке, еще сравнительно недавно представляли неразрешимую загадку. Эти вопросы в настоящее время в основном выяснены, и решение их представляет величайшее достижение биологии и биохимии XX в.

Основная роль в определении структуры белка принадлежит ДНК. Мы уже знаем, что молекулы ДНК очень велики. Их длина в десятки и сотни раз превышает длину самых крупных молекул белков: по длине цепочки ДНК можно было бы уложить одну за другой десятки, а то и сотни молекул белков. В настоящее время установлено, что разные участки ДНК определяют синтез различных белков. Одна молекула ДНК участвует в синтезе нескольких десятков белков.

Каждый участок ДНК, определяющий синтез одной молекулы белка, называется геном. Каждый ген — участок двойной спирали ДНК, на котором содержится информация о структуре какого-то одного белка.

Чтобы разобраться в том, каким образом структура ДНК определяет структуру белка, приведем такой пример. Многие знают об азбуке Морзе, при помощи которой передают сигналы и телеграммы. По азбуке Морзе все буквы алфавита обозначены сочетаниями коротких и длинных сигналов — точками и тире.

Буква
обозна
предста
с точка
дирует

Ма
довате
ставля
в коде
тание
ветств
нуклео

Ко
Сушно
те соо
клеоти
лоте
и т. д.

До

Ра
шифр
молек

В
всех
буквы
леоти
равно
личны
вания

Тр
го уча
клетк
струк
жится
белка
Это о
ДНК
отидо
одной
ся в
Этот
репис
копий
ставе

Буква А обозначается $\cdot -$, Б $- -$ и т. д. Собрание условных обозначений называется кодом или шифром. Азбука Морзе представляет собой пример кода. Получив телеграфную ленту с точками и тире, знающий код Морзе легко расшифрует (раскодирует) написанное.

Макромолекула ДНК, состоящая из нескольких тысяч последовательно расположенных четырех видов нуклеотидов, представляет собой код, определяющий структуру белка. Так же как в коде Морзе каждой букве соответствует определенное сочетание точек и тире, так в коде ДНК каждой аминокислоте соответствует определенное сочетание последовательно связанных нуклеотидов.

Код ДНК. Код ДНК удалось расшифровать почти полностью. Сущность кода ДНК состоит в следующем. Каждой аминокислоте соответствует участок цепи ДНК из трех рядом стоящих нуклеотидов. Например, участок Т—Т—Т соответствует аминокислоте лизину, отрезок А—Ц—А — цистеину, Ц—А—А — валину и т. д.

Допустим, что в гене нуклеотиды следуют в таком порядке:

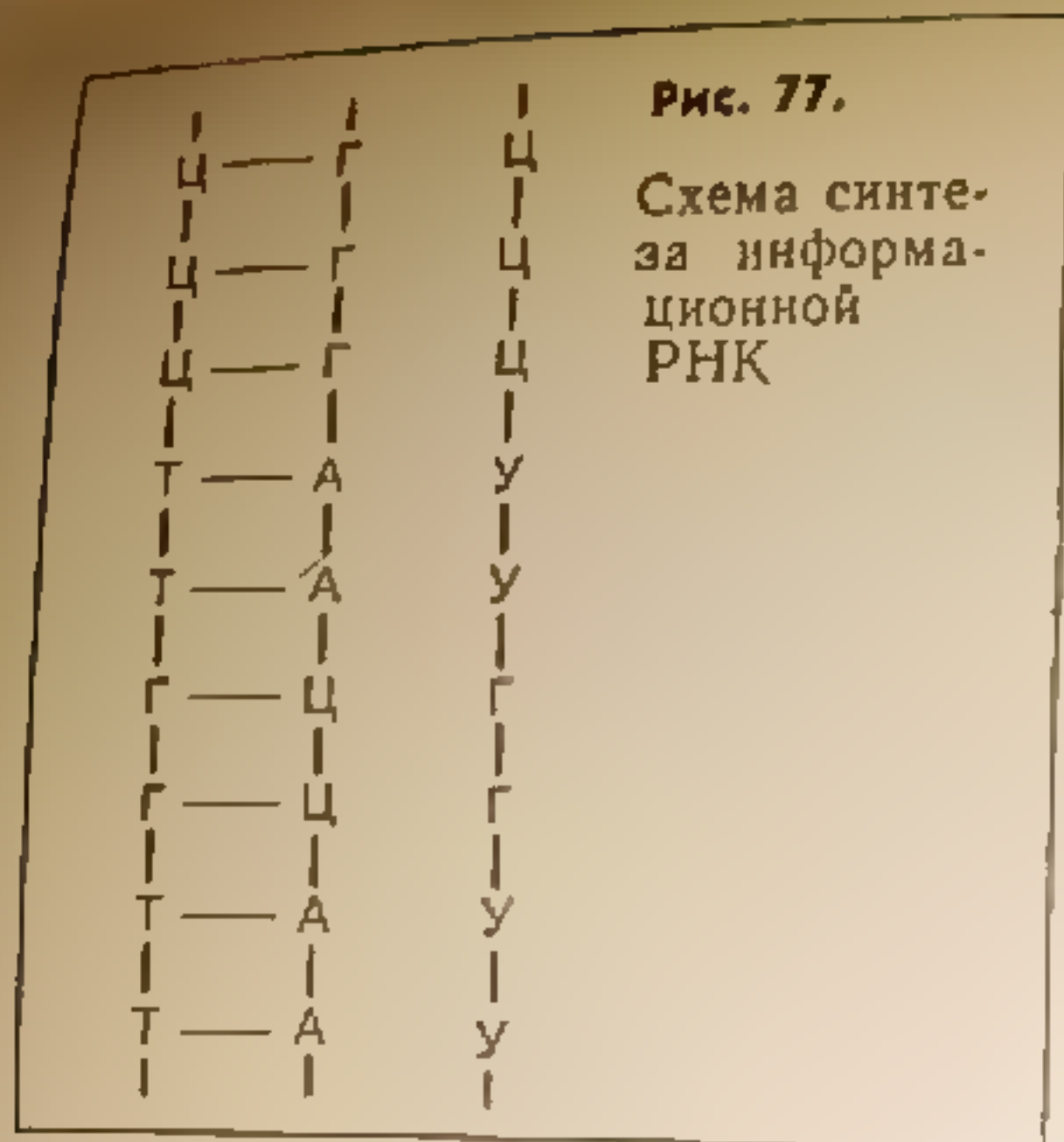
А—Ц—А—Т—Т—Т—А—А—Ц—Ц—А—А—Г—Г—Г.

Разбив этот ряд на тройки (триплеты), мы сразу же расшифруем, какие аминокислоты и в каком порядке следуют в молекуле белка:

А—Ц—А	Т—Т—Т	А—А—Ц	Ц—А—А	Г—Г—Г
Цистеин	Лизин	Лейцин	Валин	Пролин

В коде Морзе всего два знака \cdot и $-$ для обозначения всех букв, всех цифр и знаков препинания приходится брать на некоторые буквы или цифры до 5 знаков. В коде ДНК проще. Разных нуклеотидов 4. Число возможных комбинаций из 4 элементов по 3 равно 64. Разных же аминокислот всего 20. Таким образом, различных триплетов нуклеотидов с избытком хватает для кодирования всех аминокислот.

Транскрипция. Установлено, что сами ДНК непосредственно го участия в синтезе белка не принимают, ДНК находятся в ядре клетки, а синтез белка происходит в рибосомах — мельчайших структурах, находящихся в цитоплазме. В ДНК только содержится и хранится информация о структуре белков. Для синтеза белка в рибосомы направляются точные копии этой информации. Это осуществляется с помощью РНК, которые синтезируются на ДНК и точно копируют ее структуру. Последовательность нуклеотидов РНК точно повторяет последовательность нуклеотидов в одной из цепей гена. Таким образом, информация, содержащаяся в структуре данного гена, как бы переписывается на РНК. Этот процесс называется *транскрипцией* («транскрипция» — переписывание, лат.). С каждого гена можно снять любое число копий РНК. Эти РНК, несущие в рибосомы информацию о составе белков, называются *информационными* (и-РНК).



Для того, чтобы понять, каким образом состав и последовательность расположения нуклеотидов в гене могут быть «переписаны» на РНК, вспомним принцип комплементарности, на основании которого построена двуспиральная молекула ДНК (рис. 72). Нуклеотиды одной цепи обуславливают характер противоположающихся нуклеотидов другой цепи (стр. 150). Если на одной цепи находится А, то на том же уровне другой цепи стоит Т, а против Г всегда находится Ц. Других комбинаций не бы-

вает. Принцип комплементарности действует и при синтезе информационной РНК. Как это происходит, видно на рисунке 77.

Против каждого нуклеотида одной из цепей ДНК встает комплементарный к нему нуклеотид информационной РНК. Таким образом, против Г_{ДНК} встает Ц_{РНК}, против Ц_{ДНК} — Г_{РНК}, против А_{ДНК} — У¹_{РНК}, против Т_{ДНК} — А_{РНК}. В результате образующаяся цепочка РНК по составу и последовательности своих нуклеотидов представляет собой точную копию состава и последовательности нуклеотидов одной из цепей ДНК. Молекулы информационной РНК направляются к месту, где происходит синтез белка, т. е. к рибосомам. Туда же идет из цитоплазмы поток материала, из которого строится белок, т. е. аминокислоты. В цитоплазме клеток всегда имеются аминокислоты, образующиеся в результате расщепления белков пищи.

Транспортные РНК. Аминокислоты попадают в рибосому не самостоятельно, а в сопровождении особых молекул РНК, специально приспособленных для транспорта аминокислот к рибосомам. Они так и называются: *транспортные РНК* (т-РНК). Транспортные РНК — это сравнительно короткие цепочки, состоящие всего из нескольких десятков нуклеотидов. На одном конце их молекулы имеется структура, к которой может присоединиться аминокислота. На другом конце транспортной РНК находится триплет нуклеотидов, который соответствует по коду данной аминокислоте. Например, молекула транспортной РНК для аминокислоты лизина на одном конце имеет «площадку» для «посадки» лизина, а на другом конце — триплет нуклеотидов: У—У—У. Так как существует не менее 20 различных аминокислот, то, очевидно, существует не менее 20 различных транспортных РНК. На каждую аминокислоту имеется своя транспортная РНК.

¹ Напомним, что в РНК вместо тиминового нуклеотида (Т) присутствует урациловый нуклеотид (У).

Реакция матричного синтеза. Для изучавшего неорганическую и органическую химию привычны реакции, протекающие в растворах, в которых молекулы веществ находятся в хаотическом движении. Реакции в таких системах осуществляются в результате случайного столкновения молекул. Чем концентрация веществ выше, тем больше вероятность столкновения, тем выше скорость реакции. Напротив, при понижении концентрации веществ вероятность встречи молекул невелика и скорость реакции может быть ничтожной.

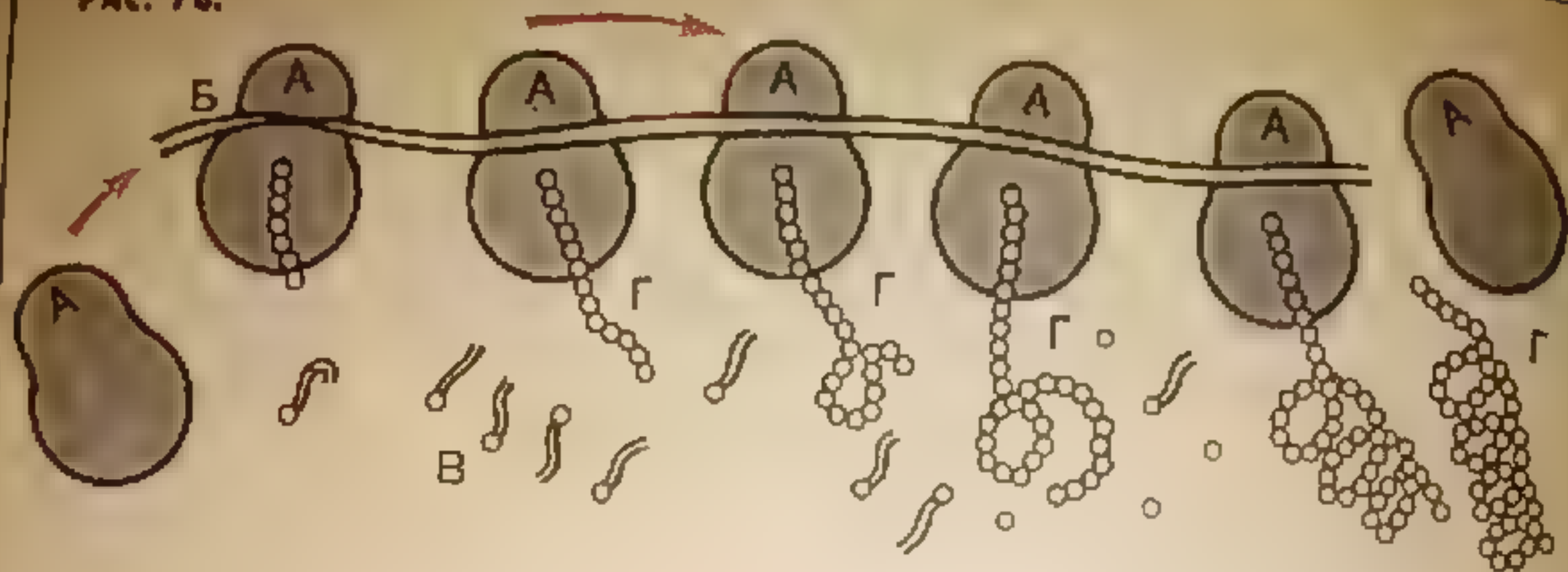
В живых системах мы встречаемся с новым типом реакций, наподобие описанной выше реакции редупликации ДНК (стр. 151) или реакции синтеза РНК (стр. 152). Такие реакции неизвестны в неживой природе. Они называются реакциями матричного синтеза.

Термином «матрица» в технике обозначают форму, употребляемую для отливки монет, медалей, типографского шрифта: затвердевший металл в точности воспроизводит все детали формы, служившей для отливки. Матричный синтез напоминает отливку на матрице: новые молекулы синтезируются в точном соответствии с планом, заложенным в структуре уже существующих молекул. Матричный принцип лежит в основе важнейших синтетических реакций клетки, таких, как синтез нуклеиновых кислот и белков. В этих реакциях обеспечивается точная, строго специфическая последовательность мономерных звеньев в синтезируемых полимерах. Здесь происходит направленное стягивание мономеров в определенное место клетки — на молекулы, служащие матрицей для реакции и осуществляется. Если бы такие реакции происходили путем случайного столкновения молекул, они протекали бы бесконечно медленно. Синтез сложных молекул на основе матричного принципа осуществляется быстро и точно.

Роль матрицы в матричных реакциях играют макромолекулы нуклеиновых кислот — ДНК или РНК. Мономерные молекулы, из которых синтезируется полимер, — нуклеотиды или аминокислоты — в соответствии с принципом комплементарности располагаются и фиксируются на матрице в строго определенном, наперед заданном порядке. Затем происходит «сшивание» мономерных звеньев в полимерную цепь, и готовый полимер сбрасывается с матрицы. После этого матрица готова к сборке новой полимерной молекулы. Понятно, что, как на данной форме может производиться отливка только какой-то одной монеты, или медали, или какой-то одной буквы, так и на данной матричной молекуле может идти «сборка» только какого-то одного полимера.

Матричный тип реакций — специфическая особенность химизма живых систем. Они являются основой фундаментального свойства всего живого — его способности к воспроизведению себе подобного.

Кроме живой клетки, матричный тип реакций нигде в природе обнаружен не был.



Полисома:

А — рибосома, Б — информационная РНК, В — транспортные РНК с аминокислотами; Г — белок

Трансляция. Информация о структуре белка, записанная в и-РНК в виде последовательности нуклеотидов, переносится далее в виде последовательности аминокислот в синтезируемой полипептидной цепи. Этот процесс называется *трансляцией* («трансляция» — перенесение, перевод, лат.). Для того чтобы разобраться в том, как в рибосомах происходит трансляция, т. е. перевод информации с языка нуклеиновых кислот на язык белков, обратимся к рисунку 78. Рибосомы на рисунке изображены в виде яйцевидных тел, унизывающих и-РНК. Первая рибосома вступает на нитевидную молекулу и-РНК с левого конца и начинает синтез белка. По мере сборки белковой молекулы рибосома ползет по и-РНК (на рисунке слева направо). Когда рибосома продвинется вперед на 50—100 Å, с того же конца на и-РНК входит вторая рибосома, которая, как и первая, начинает синтез и движется вслед за первой рибосомой. Затем на и-РНК вступает третья рибосома, четвертая и т. д. Все они выполняют одну и ту же работу: каждая синтезирует один и тот же белок, запрограммированный на данной и-РНК. Чем дальше вправо продвинулась рибосома по и-РНК, тем больший отрезок белковой молекулы «собран». Когда рибосома достигает правого конца и-РНК, синтез окончен и рибосома вместе со своим «изделием» сваливается в окружающую среду. Здесь они расходятся: рибосома — на любую и-РНК (так как она способна к синтезу любого белка; характер белка зависит от матрицы), белковая молекула — в эндоплазматическую сеть и по ней перемещается в тот участок клетки, где требуется данный вид белка. Через короткое время заканчивает работу вторая рибосома, затем третья и т. д. А с левого конца и-РНК на нее вступают все новые и новые рибосомы, и синтез белка идет непрерывно. Число рибосом, уместящихся одновременно на молекуле и-РНК, зависит от длины и-РНК. Так, например, на молекуле и-РНК, программирующей синтез белка-гемоглобина, длина которой около 1500 Å, помещается до 5 рибосом (диаметр рибосомы приблизительно

230 Å
моле
поли
Т
мы.
ния
с неб
учас
пере
трип
такта
поме
поли
амин
С
щест

Рис.

Схе
А —

230 Å). Группа рибосом, помещающихся одновременно на одной молекуле и-РНК, называется полирибосомой или, сокращенно, полисомой.

Теперь остановимся подробнее на механизме работы рибосомы. Обратимся к рисунку 79. Рибосома во время своего движения по и-РНК в каждый данный момент находится в контакте с небольшим участком ее молекулы. Возможно, что размер этого участка составляет всего один триплет нуклеотидов. Рибосома передвигается по и-РНК не плавно, а прерывисто, «шажками» — триплет за триплетом. На некотором расстоянии от места контакта рибосомы с и-РНК находится пункт «сборки» белка: здесь помещается и работает фермент белок-синтетаза, создающий полипептидную цепь, т. е. образующий пептидные связи между аминокислотами.

Сам механизм «сборки» белковой молекулы в рибосомах осуществляется следующим образом. В каждую рибосому, входя-

Рис. 79.

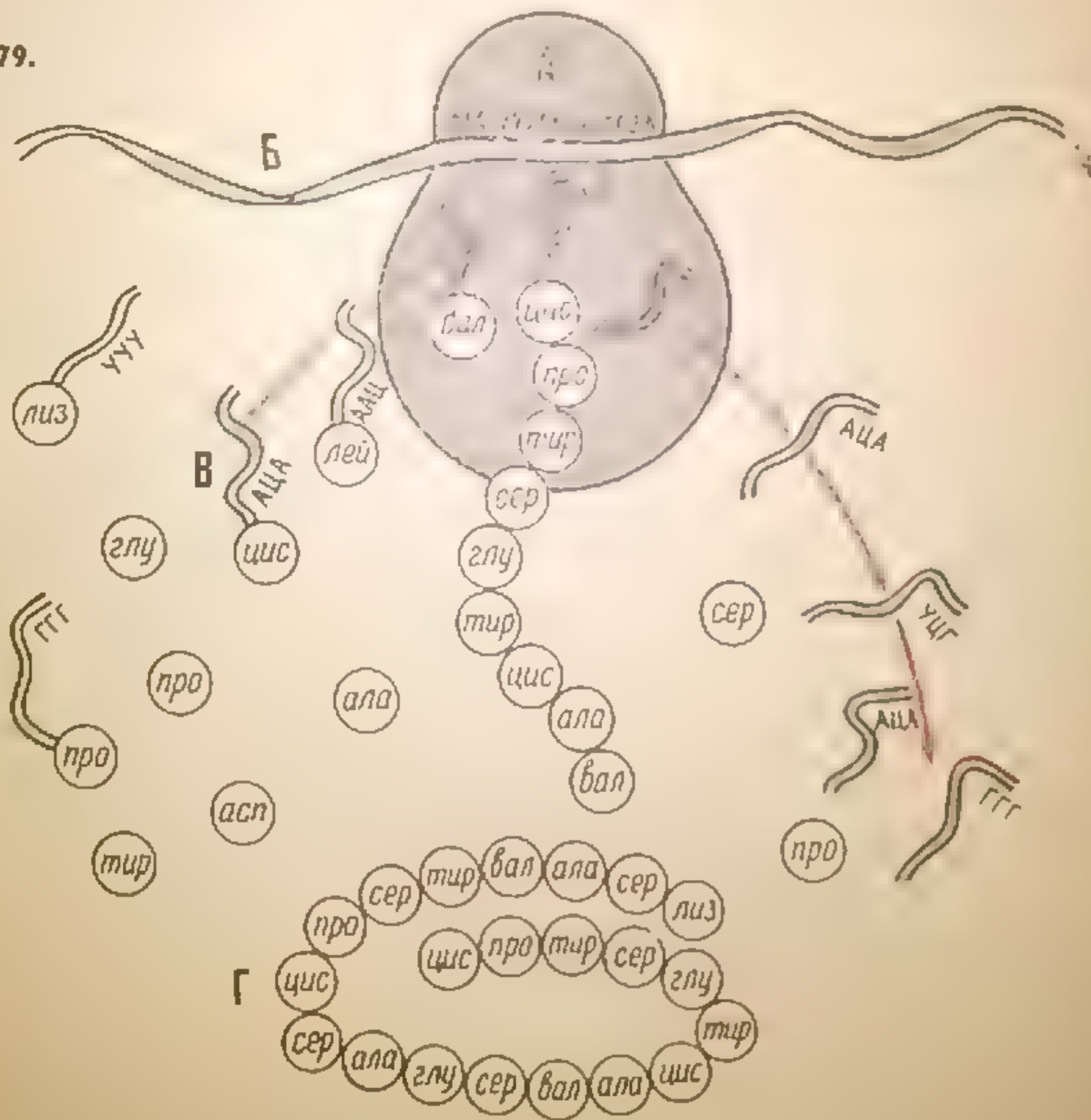


Схема синтеза белка в рибосоме:

А — рибосома; Б — информационная РНК; В — транспортная РНК; Г — белок.

щую в состав полисомы, т. е. движущуюся по и-РНК, из окружающей среды непрерывным потоком идут молекулы т-РНК с «навешанными» на них аминокислотами. Они проходят, задевая своим кодовым концом место контакта рибосомы с и-РНК, догадываются до триплета нуклеотидов и-РНК, который в данный момент находится в рибосоме. Противоположный конец т-РНК (несущий аминокислоту) оказывается при этом вблизи пункта «сборки» белка. Однако только в том случае, если кодовый триплет т-РНК окажется комплементарным к триpletу и-РНК (находящемуся в данный момент в рибосоме), аминокислота, доставленная т-РНК, попадет в состав молекулы белка и отделится от т-РНК. Тотчас же рибосома делает «шаг» вперед по и-РНК на один триплет, а свободная т-РНК выбрасывается из рибосомы в окружающую среду. Здесь она захватывает новую молекулу аминокислоты и несет ее в любую из работающих рибосом. Так постепенно, триплет за триплетом, движется по и-РНК рибосома и растет звено за звеном — полипептидная цепь. Так работает рибосома — этот удивительный органелл клетки, который с полным правом называют «молекулярным автоматом» синтеза белка.

Мы уже упоминали о синтезе белка, недавно осуществленном химиками в лабораторных условиях. Этот искусственный синтез потребовал огромных усилий, много времени и средств. А в живой клетке синтез одной молекулы белка завершается в 3—4 секунды. Вот пример, насколько совершеннее работает синтетический аппарат живой клетки.

Роль ферментов в биосинтезе белка. Не следует забывать, что ни один шаг в процессе синтеза белка не идет без участия ферментов. Все реакции белкового синтеза катализируются специальными ферментами. Синтез информационной РНК ведет фермент, который «ползет» вдоль молекулы ДНК от начала гена до его конца и оставляет позади себя готовую молекулу информационной РНК. Ген в этом процессе дает только программу для синтеза, а сам процесс осуществляет фермент. Без участия ферментов не происходит и соединения аминокислот с транспортной РНК.

Существуют особые ферменты, обеспечивающие захват и соединение аминокислот с их транспортными РНК. Наконец, в рибосоме в процессе сборки белка работает фермент, сцепляющий аминокислоты между собой.

Энергетика биосинтеза белка. Еще одной очень важной стороной биосинтеза белка является его энергетика. Мы уже упоминали, что любой синтетический процесс представляет собой эндотермическую реакцию и, следовательно, нуждается в затрате энергии. Биосинтез белка представляет цепь синтетических реакций: 1) синтез и-РНК, 2) соединение аминокислот с т-РНК и 3) «сборку» белка. Все эти реакции требуют энергетических затрат. Энергия для синтеза белка доставляется реакцией расщепления АТФ. Каждое звено биосинтеза всегда сопряжено с распадом АТФ.

- ? 1. Что называется кодом ДНК? 2. Какую роль играет ДНК в процессе биосинтеза белка? 3. Какое звено биосинтеза белка называется транскрипцией, а какое трансляцией? 4. На фрагменте ДНК, имеющем состав Ц—А—Т—Г—Г—Ц—Т—А—Г, синтезирован фрагмент и-РНК. Укажите его состав. 5. На каких структурах протекает синтез белка в клетке? 6. За счет какой энергии происходит биосинтез белка?

40. Авторегуляция химической активности клетки

Любой клетке, как и всякой живой системе, присуща способность сохранять свой состав и все свои свойства на относительно постоянном уровне. Так, например, содержание АТФ в клетках составляет около 0,04%, и эта величина стойко удерживается, несмотря на то что АТФ постоянно расходуется в клетке в процессе жизнедеятельности. Другой пример: реакция клеточного содержимого слабощелочная, и эта реакция устойчиво удерживается, несмотря на то что в процессе обмена веществ постоянно образуются кислоты и основания. Стойко удерживается на определенном уровне не только химический состав клетки, но и другие ее свойства. Высокую устойчивость живых систем нельзя объяснить свойствами материалов, из которых они построены, так как белки, жиры и углеводы обладают лишь незначительной устойчивостью. Устойчивость живых систем активна, она обусловлена сложными процессами координации и регуляции.

Рассмотрим, например, каким образом поддерживается постоянство содержания АТФ в клетке. Как мы знаем, АТФ расходуется клеткой при осуществлении какой-либо деятельности. Синтез же АТФ происходит в результате процессов бескислородного и кислородного расщепления глюкозы (стр. 157—160). Очевидно, что постоянство содержания АТФ достигается благодаря точному уравниванию обоих процессов — расхода АТФ и ее синтеза: как только содержание АТФ в клетке снизится, тотчас же включаются процессы бескислородного и кислородного расщепления глюкозы, в ходе которых АТФ синтезируется и содержание АТФ в клетке повышается. Когда уровень АТФ достигнет нормы, синтез АТФ притормаживается.

Включение и выключение процессов, обеспечивающих поддержание нормального состава клетки, происходит в ней автоматически. Такая регуляция называется *саморегуляцией* или *авторегуляцией*.

Основой регуляции деятельности клетки являются процессы информации, т. е. процессы, в которых связь между отдельными звеньями системы осуществляется с помощью сигналов. Сигналом служит изменение, возникающее в каком-нибудь звене системы. В ответ на сигнал запускается процесс, в результате которого возникшее изменение устраняется. Когда нормальное состояние системы восстановлено — это служит новым сигналом для выключения процесса.

Понижение содержания АТФ в клетке представляет сигнал, запускающий процесс синтеза АТФ. Когда концентрация АТФ

достигнет нормы — это новый сигнал, приводящий к выключению синтеза АТФ.

Каким же образом работает сигнальная система клетки, как она обеспечивает процессы авторегуляции в ней?

Прием сигналов внутри клетки производится ее ферментами. Ферменты, как и большинство белков, обладают неустойчивой структурой. Под влиянием ряда факторов, в том числе многих химических агентов, структура фермента нарушается и каталитическая активность его утрачивается. Это изменение, как правило, обратимо, т. е. после устранения действующего фактора структура фермента возвращается к норме и его каталитическая функция восстанавливается.

Механизм авторегуляции клетки основан на том, что вещество, содержание которого регулируется, способно к специфическому взаимодействию с порождающим его ферментом. В результате этого взаимодействия структура фермента деформируется и каталитическая активность его утрачивается.

Механизм авторегуляции клетки работает следующим образом. Мы уже знаем, что химические вещества, вырабатываемые в клетке, как правило, возникают в результате нескольких последовательных ферментативных реакций. Вспомните бескислородный и кислородный процессы расщепления глюкозы. Каждый из этих процессов представляет длинный ряд — не менее десятка последовательно протекающих реакций. Вполне очевидно, что для регуляции таких многочисленных процессов достаточно выключения какого-либо одного звена. Достаточно выключить хотя бы одну реакцию — и остановится вся линия. Именно этим путем и осуществляется регуляция содержания АТФ в клетке. Пока клетка находится в покое, содержание АТФ в ней около 0,04%. При такой высокой концентрации АТФ она реагирует с одним из ферментов бескислородного процесса расщепления глюкозы. В результате этой реакции все молекулы данного фермента лишены активности и конвейерные линии бескислородного и кислородного процессов бездействуют. Если благодаря какой-либо деятельности клетки концентрация АТФ в ней снижается, тогда структура и функция фермента восстанавливаются и бескислородный и кислородный процессы запускаются. В результате происходит выработка АТФ, концентрация ее увеличивается. Когда она достигнет нормы (0,04%), конвейер бескислородного и кислородного процессов автоматически выключается.

По образцу авторегуляции АТФ происходит авторегуляция содержания и других веществ в клетке.

- ? 1. Что называется авторегуляцией? На чем основан механизм авторегуляции клетки? 2. Каким образом в клетке поддерживается определенное содержание АТФ, несмотря на постоянную трату ее в процессе жизнедеятельности? 3. Почему при повышении интенсивности мышечной деятельности резко усиливается процесс дыхания?

41. Раздражимость и движение клеток

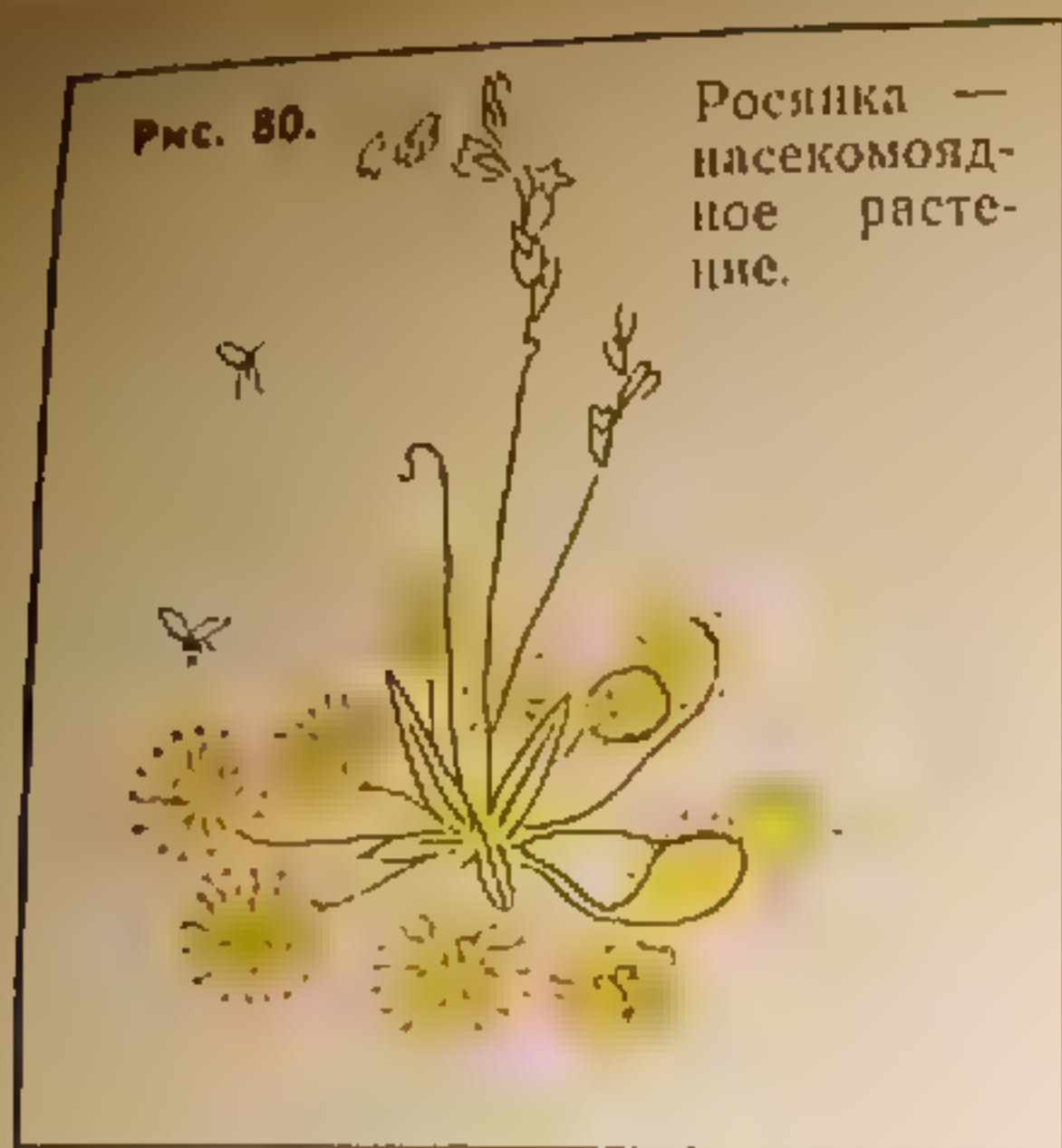
Раздражимость. На любой организм постоянно действуют разнообразные факторы внешней среды, например: свет, температура, давление, звук, электрический ток, сила тяжести и др. Действие всех внешних факторов-раздражителей вызывает у организма ответные реакции, в основе которых лежит свойство раздражимости клеток. Раздражимостью называют способность организмов, а также клеток отвечать на воздействия внешней среды определенными реакциями.

Раздражимость можно наблюдать у любых клеток и организмов. У простейших, например у амёб, эвглен, инфузорий, реакция на изменение условий среды проявляется в передвижении их по отношению к раздражителю. Такие движения называются *таксисами*.

Если простейшие движутся по направлению к раздражителю, то такие движения их именуются положительным таксисом; движения же простейших от раздражителя носят название отрицательного таксиса. Те движения, которые возникают в ответ на действие света, получили название *фототаксиса*. Пример фототаксиса — движение зеленых жгутиконосцев по направлению к источнику освещения: если аквариум, в котором находятся эвглены, одинаково освещен со всех сторон, то эвглены равномерно распределяются по всей толще воды. Если же наиболее сильно осветить лишь какую-либо одну часть аквариума, то эвглены скапливаются именно в этой освещенной части, проявляя положительный фототаксис по отношению к свету.

Движения простейших, вызванные действием химических веществ, именуются *хемотаксисами*. Хемотаксис можно наблюдать у инфузории туфельки: если в пробирку налить воду с находящимися в ней инфузориями, то через небольшой промежуток времени они все соберутся в верхнем слое воды, богатом кислородом. Инфузориям необходим кислород для дыхания, и они по отношению к нему проявляют положительный хемотаксис. Те движения простейших, которые возникают под влиянием изменения температуры, называются *термотаксисом*. Термотаксис можно также легко наблюдать у инфузории туфельки. Для этого туфелек вместе с небольшим количеством среды, в которой они находятся, помещают в тонкий стеклянный капилляр, который с одной стороны охлаждается льдом, а с другой подогревается горячей водой до температуры $38-40^{\circ}\text{C}$. Туфельки, сначала равномерно распределявшиеся по всей длине капилляра, начинают двигаться от слишком холодных и слишком горячих его участков, проявляя к ним отрицательный термотаксис и собираясь в средней зоне с температурой $24-26^{\circ}\text{C}$, которая для них служит оптимальной, т. е. наилучшей для жизни. Именно к этой температуре они обнаруживают отчетливо выраженный положительный термотаксис.

Явление раздражимости хорошо выражено и у клеток растений. Чаще всего у растений встречаются проявления раздражи-



мости в форме медленных двигательных реакций. Такие медленные движения, направленные к раздражителю или от него, называются *тропизмами*. У растений широко распространены *фототропизмы* — движения, возникающие в ответ на действие света. Растения тянутся к свету, изгибаются по направлению к нему, и в основе этой реакции лежит свойство раздражимости их клеток.

Иногда же клетки растений быстро реагируют на действие раздражителей. Примером

может служить быстрая реакция у растения, известного под названием «стыдливая мимоза». При любом прикосновении к мимозе, при помещении в темноту или в условия повышенной температуры листья ее складываются и как бы увядают. Как только действие раздражителя прекращается, листья мимозы принимают прежнее положение. В основе этой быстрой реакции мимозы лежит также свойство раздражимости ее клеток.

Еще пример быстрой реакции растения на действие раздражителя. На болотах, а иногда и по берегам ручьев растет росЯнка — растение, питающееся насекомыми (рис. 80). РосЯнка — небольшое растение с розеткой стоящих листьев, похожих на лопаточки. Поверхность каждого листа покрыта чувствительными волосками красного цвета. Кончик каждого волоска утолщен и покрыт капельками блестящего, как роса, и липкого, как клей, сока. Если на такой лист сядет насекомое, например комар или небольшой жук, то клейкий сок волосков сразу же затрудняет его движения и насекомое оказывается в западне. Волоски листа, задетые насекомым, быстро складываются над пойманной добычей и обильно поливают ее соком. Сок, выделенный секреторными клетками листа, содержит ферменты, под действием которых расщепляются белки. Насекомое переваривается и через несколько часов всасывается. После этого волоски листа поднимаются, и лист снова готов к «охоте».

По сравнению с многоклеточными животными реакции одноклеточных организмов и растений, возникающие в ответ на действие раздражителя, относительно просты: клетки их непосредственно взаимодействуют с внешней средой. У сложноорганизованных многоклеточных животных и у человека нервная система в процессе эволюции стала основным посредником между организмом и окружающей средой. Человек и животные получают информацию об изменениях внешней и внутренней среды посредством рецепторов — особых клеток, обладающих высокой чувствительностью к воздействию разнообразных раздражителей.

У человека
вам из ку
множество
телу рассе
кровеносн
рующие на
Раздра

Пока орга
раздражи
клеток и с
живым су
щим миро
дражимост
изменения
мембран
дражителе
ния в стр
структуры
му, одно
возникло

Движе
способность
движения
тимость —

Как пр
и исключе
доросли (и
передвиже
раздражит
ев и побел
росте.

В клет
топлазмы.
можно ви
листьев т
цитоплазм
наблюдати

Способ
для много
инства м
передвиже
клеток: ам

?

1. Рас
2. Рас
3. Что
4. Для
мышц

У человека 5 видов внешних рецепторов, которые известны вам из курса физиологии (вспомните и назовите их). Имется и множество внутренних рецепторных клеток. Например, по всему телу рассеяны болевые рецепторные клетки, в стенках крупных кровеносных сосудов находятся чувствительные клетки, реагирующие на изменение концентрации CO_2 в крови.

Раздражимость — один из основных признаков жизни. Пока организм жив, он раздражим. С прекращением жизни раздражимость исчезает. Огромное значение раздражимости клеток и организмов заключается в том, что она позволяет всем живым существам находиться в постоянной связи с окружающим миром, дает возможность приспосабливаться к нему. Раздражимость клеток связана в первую очередь с теми большими изменениями, которые происходят в белках, входящих в состав мембран цитоплазмы и ядра каждой клетки. При действии раздражителей, как это стало известно сейчас, происходят изменения в структуре белковых молекул. Способность к изменению структуры в ответ на действие раздражителей — это, по-видимому, одно из первичных элементарных свойств белков, которое возникло в процессе эволюции организмов.

Движение. В теснейшей связи с раздражимостью находится способность клеток и организмов совершать движения. Основу движения составляет сократимость цитоплазмы клеток. Сократимость — одно из основных свойств цитоплазмы живых клеток.

Как правило, растения обычно растут на одном месте, и исключение составляют только некоторые одноклеточные водоросли (например, диатомовые), способные к самостоятельному передвижению. Мы уже видели, что на действие таких внешних раздражителей, как свет, растения отвечают движениями листьев и побегов. Кроме того, у растений движения проявляются в росте.

В клетках всех растений постоянно происходит движение цитоплазмы. Эти движения называются *токами цитоплазмы*. Их можно видеть с помощью микроскопа у водорослей, в клетках листьев традесканции и в других растительных клетках. Токи цитоплазмы имеются также в клетках животных, и их легко наблюдать, например, у таких простейших, как инфузории.

Способность к передвижениям во внешней среде характерна для многих видов бактерий, простейших, для огромного большинства многоклеточных животных. У организмов, способных к передвижениям во внешней среде, различается 4 типа движения клеток: амебоидное, ресничное, жгутиковое и мышечное.

- ?
1. Расскажите о формах раздражимости у простейших и растений.
 2. Расскажите о значении рецепторных клеток у животных и человека.
 3. Что такое токи цитоплазмы и в каких клетках их можно наблюдать?
 4. Для каких клеток характерно амебоидное, ресничное, жгутиковое и мышечное движение?

ПРОИСХОЖДЕНИЕ И НАЧАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ
ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

42. Определение понятия жизни

Наблюдая окружающую природу, человек с незапамятных времен разделил ее на мир живых и неживых тел. К живым относятся люди, животные, растения; к неживым — камни, песок, вода, а также трупы животных и растений. Чем же отличаются живые тела от неживых? Конечно, даже неискушенный в науке человек легко подмечает то общее, что позволяет ему отнести к живым существам человека и дерево, кита и паучка, птицу и слизняка. И когда простой шлифовальщик стекол Левенгук впервые увидел под микроскопом микробов, он без колебания признал их живыми существами. Однако при попытке определить понятия «живое» и «неживое», как правило, испытывают немалые затруднения даже искушенные в науке люди.

Многие считают характерным свойством живого тела его способность к движению. После смерти оно утрачивает подвижность. Однако, если бы мы решились дать определение живому телу как телу, способному к движению, мы бы, конечно, ошиблись, так как, с одной стороны, известно множество несомненно живых тел, но неподвижных, например: губки, почти все растения. С другой стороны, известен ряд тел, способных к активному движению, но несомненно неживых, например все движущиеся машины и механизмы, созданные человеком. Таким образом, определить живое тело по одной способности его к движению нельзя.

Другим признаком, считающимся характерным для живых организмов, является их способность к дыханию. Дышат люди, животные и растения. После смерти дыхание исчезает. Однако этот критерий также недостаточен, так как, с одной стороны, известны организмы, совершенно не потребляющие кислорода (некоторые паразитические черви кишечника, многие простейшие и микробы), а с другой стороны, существуют неживые системы, активно поглощающие кислород и выделяющие углекислоту (горящая свеча, работающий бензиновый двигатель). Любая реакция окисления органических веществ сопровождается поглощением кислорода и выделением углекислого газа.

Еще один признак живых тел — это способность их к размножению. Действительно, способность к порождению себе подобных — очень характерное свойство живого. Однако и этот признак не может считаться постоянным и верным признаком жизни, так как, с одной стороны, существует ряд несомненно

живых су
пример Р
с другой
ка) може
производ
Мы в

является
использо

Как в

непросту

и дать ее

авторов

фы и ест

многие д

ни одно

определе

нуть их

«Жизнь

деления

например

деление:

Основ

в книге «

ствознани

ние жизни

этот спос

ном само

Как види

на призн

черты. О

указывае

их от не

(стр. 136

ной части

митивных

ду, где и

она связа

чаем без

Но бе

живого

(труп со

свою уни

третичну

ми. При

структур

в денатур

ной, при

условий,

белка. Во

бе сущес

живых существ, не способных к воспроизведению потомства, например рабочие пчелы, мулы или кастрированные животные; с другой стороны, современная техника (техническая кибернетика) может конструировать и создавать машины, способные воспроизводить подобные себе машины.

Мы выбрали три признака и видим, что ни один из них не является вполне характерным для живых тел и не может быть использован в качестве определения жизни.

Как видим, охарактеризовать явление жизни представляет непростую задачу. Попытки найти самое существенное в жизни и дать ее определение делались в прошлом неоднократно. Среди авторов определений жизни были знаменитые ученые, философы и естествоиспытатели: Аристотель, Кант, Ламарк, Кювье и многие другие. Среди старых определений жизни нет, однако, ни одного сколько-нибудь удовлетворительного. Некоторые определения настолько туманны, что нет возможности постигнуть их смысл. Вот, например, одно из таких определений: «Жизнь есть душа мира, уравнение вселенной». Другие определения хотя и более понятны, но ничего не объясняют. Так, например, во французской энциклопедии давалось такое определение: «Жизнь есть противоположность смерти».

Основоположник научного коммунизма — Фридрих Энгельс в книге «Анти-Дюринг» указывает на успехи, достигнутые естествознанием, и дает следующее ставшее классическим определение жизни: «Жизнь есть способ существования белковых тел, и этот способ существования заключается, по существу, в постоянном самообновлении химических составных частей этих тел». Как видим, Энгельс не ограничивается одним лишь указанием на признаки жизни, но он подчеркивает самые существенные ее черты. Определение Энгельса состоит из двух частей. В первой указывается на характерное для живых тел, резко отличающее их от неживых тел, содержание в них белка. Мы уже знаем (стр. 136), что белки являются главной и постоянной составной частью всех без исключения живых систем — от самых примитивных до самых сложных и высокоорганизованных. «Повсюду, где имеется жизнь, — пишет Энгельс, — мы находим, что она связана с белком, и повсюду, где имеются белки, мы встречаем без исключения и явления жизни».

Но белки — вещества с легко изменяемой структурой. Для живого состояния характерно присутствие не любого белка (труп состоит также из белка), но лишь белка, сохраняющего свою уникальную конфигурацию, свою первичную, вторичную и третичную структуры, с присущими ему природными свойствами. При умирании организма белки его утрачивают нативную структуру, макромолекулы разворачиваются и белки переходят в денатурированное состояние. Для поддержания белка в нативной, присущей живому состоянию форме необходимо наличие условий, при которых может быть устойчивой нативная форма белка. Во второй части определения Энгельс и говорит о способе существования белка. Этот способ — обмен веществ, при по-

мощи которого создаются и поддерживаются условия для сохранения белка в нативном состоянии в живой системе и выполнения присущих ему функций. Определение жизни, сформулированное Энгельсом, прекрасное по форме и глубокое по содержанию, оказало существенное влияние на развитие исследований белка как основного субстрата жизни и до сих пор пользуется широким признанием.

После опубликования «Анти-Дюринга» прошло уже более 80 лет. За этот период в разных областях естествознания были сделаны крупные открытия. Значительны и успехи науки о жизни. Были открыты нуклеиновые кислоты, открыт механизм их репликации, выяснено их значение в передаче наследственных свойств. Возникли новые биологические науки: биофизика и биохимия, биопика и молекулярная биология. В связи с развитием кибернетики получило значительное распространение моделирование жизненных явлений — конструирование и построение аппаратов, имитирующих разные стороны жизненного процесса. Были осуществлены, наконец, полеты в космос, и стала реальностью возможность обнаружения новых форм жизни на других планетах. Все эти обстоятельства, естественно, стимулировали исследователей на поиски новых определений жизни, в которых отразились бы новейшие достижения биологии.

В новых определениях жизни прежде всего нашли отражение результаты проникновения в биологию точных наук: физики, математики, химии, кибернетики. Так, например, почти во всех новых определениях жизни одним из первых пунктов является указание на то, что живое тело — это открытая система. Понятие «открытая система» заимствовано из физики. Под открытыми системами понимают динамические (т. е. не находящиеся в покое) системы, устойчивые при условии непрерывного доступа к ним энергии и материи извне. Наглядным примером открытой системы может служить резервуар, постоянство уровня воды в котором достигается непрерывным поступлением воды из крана и непрерывным выведением воды в сток. Открытые системы — это большинство двигателей: автомашины, паровые машины, электровозы. Все они действуют при условии непрерывного поступления горючего или электроэнергии извне. Живое тело представляет собой, несомненно, также открытую систему, так как оно существует, пока в него поступает энергия и материя в виде пищи из внешней среды, а отбросы выделяются в окружающую среду. Так как любое живое тело — от простейшего до самого сложного — открытая система, то, очевидно, разумно ввести эту характеристику в определение жизни.

Второе универсальное свойство живых тел — это их способность к авторегуляции, способность автоматически сохранять и поддерживать постоянство своего состава и свойства.

Третья особенность живых тел — это специфика их химического состава. Кроме белка, значение которого для жизни уже выдвинул Энгельс, существенной и постоянной составной частью живых тел служат нуклеиновые кислоты. В определении жизни

поэтому
тем, под
ведем од
его объяс
«Жив
открытые
системы, по
кислоты».
Обрат
определе
ис, не ис
быть обн
земных.
1. П
дите
43. О
ра
В пер
могло бы
определе
пература
но актив
примерно
зоны опа
Межд
планет, в
вания до
ставить
виях нем
Можн
период с
ла абсо
возникла
тами жи
стью к Р
что это
на ней
Как
одном э
Земли п
мо. Возн
жении д
организм
загадка.
Авг
штейн.

поэтому, кроме указания на роль белка в построении живых систем, подчеркивается также значение и нуклеиновых кислот. Приведем одно из современных определений жизни, постарайтесь его объяснить.

«Живые тела, существующие на Земле, представляют собою открытые, саморегулирующиеся и самовоспроизводящиеся системы, построенные из биополимеров — белков и нуклеиновых кислот»¹.

Обратите внимание на оговорку, сделанную автором этого определения: «Живые тела, существующие на Земле...» Очевидно, не исключается возможность, что на других планетах могут быть обнаружены живые тела, существенно отличающиеся от земных.

- 1. Приведите определение понятия жизни по Ф. Энгельсу. 2. Приведите одно из известных вам современных определений жизни.

43. Отсутствие жизни на Земле в отдаленный период развития планеты

В первый период существования Земли на ней не было и не могло быть жизни. Как известно, жизнь возможна при наличии определенных условий. Одним из таких условий является температура среды. Подавляющее большинство организмов способно активно существовать в сравнительно узкой зоне температур, примерно от -20 до $+50^{\circ}\text{C}$. Отклонения в обе стороны от этой зоны опасны для жизни.

Между тем, по данным современной космологии, температура планет, в том числе и Земли, в начальный период их существования достигала миллиона и больше градусов. Конечно, представить себе возможность существования жизни в таких условиях невозможно.

Можно, таким образом, утверждать, что Земля в начальный период своего существования была мертва и бесплодна. Она была абсолютно стерильна. Тем не менее на стерильной Земле возникла жизнь, появились первые организмы со всеми атрибутами жизни: с обменом веществ, раздражимостью, способностью к размножению, к эволюции и т. д. Можно предполагать, что это величайшее событие в истории Земли — возникновение на ней жизни — произошло примерно 2-2,5 млрд. лет назад.

Как выглядел первенец жизни, неизвестно. Явился ли он в одном экземпляре и затем размножился, или в разных местах Земли первые существа в то время возникали массами, неизвестно. Возник ли живой организм на Земле один раз или на протяжении длинной истории Земли на ней не раз еще появлялись организмы, давшие начало разным фаунам и флорам, — новая загадка. Все эти вопросы остаются пока без ответа и ждут своих

¹ Автор этого определения — советский ученый проф. М. В. Волькенштейн.

исследователей. Основная сложность проблемы происхождения жизни на Земле состоит, однако, не в решении подобных вопросов. Сложность и исключительный интерес проблемы состоят в том, что, по данным современной биологии, любое живое существо — от самого примитивного до самого сложного и высокоорганизованного — рождается только от своих родителей, т. е. от живых же существ. Появление же первобытного организма произошло явно каким-то иным способом: он возник, как выше сказано, на стерильной Земле, до него ничего живого на Земле еще не было. Как же это могло произойти?

Следует учитывать, что на этот вопрос исчерпывающего ответа еще нет. Несмотря на замечательные успехи биологических, химических и физических наук, несмотря на подробное и всестороннее знание структурных биохимических и функциональных основ жизненного процесса, наука еще не располагает данными, чтобы решить этот вопрос точно и убедительно.

- ? 1. Какие существуют соображения о том, что в начальный период существования Земли на ней не было и не могло быть жизни? 2. В чем состоит сложность и интерес вопроса о происхождении жизни на Земле?

44. Донаучные представления о происхождении жизни

В античное время и в средние века уровень знаний по биологии был очень низким. Серьезные выводы делались на основании поверхностных и недостоверных наблюдений. Широким признанием и распространением пользовалось учение о зарождении живых существ из неживого материала. В то время были широко распространены взгляды, что лягушки в пруде возникают из ила или тины, черви — из навоза или гниющего мяса, а мухи, тараканы, клопы — из грязи и отбросов. Следует при этом подчеркнуть, что подобные представления царили в головах не только простых, необразованных людей, но они выдвигались и защищались учеными, что способствовало распространению и укреплению этих взглядов. Так, например, видный фламандский ученый ван Гельмонт (1575—1640) в своей книге указывает на возможность зарождения мышей из грязного белья. Другой крупный ученый той же эпохи — врач-алхимик Парацельс (1485—1540) опубликовал способ искусственного приготовления человека (гомункулюса).

Нам сейчас кажутся весьма удивительными и даже забавными подобные идеи, но в то время к ним относились с полным доверием. Для того чтобы понять это, нужно представить себе ту эпоху, ее обстановку, ее философию. Это было время расцвета религии. Для верующего человека вопрос о происхождении жизни решается просто: она является божественным творением, т. е. чудом. Наряду с религией в эпоху средневековья получили значительное развитие ложные «науки»: алхимия, астрология, черная магия. Люди верили в существование «каменя

мудрецов» (человек, который превращает дешую руть — в золото) — в молотом фантастическом предписании. Не следует уделить далекого бурге вышло здесь, что жабы порошка высушенных раков. Не забудь время, когда интегральное и зике, основные еще очень долгие математических, то ния, возникшие В связи с этими ных, сумевших жества факты

- ? 1. Как предположительно зарождалась жизнь в древней биологии и химии?

45. Доказательства зарождения жизни

На первом Франческо Редукующих простом по куску свечены, а чехи ко дней в за Однако они сосудах. На Это свидетелю го мяса (какое мясе мухами о самопроизвольном зарождении гии. Если мненибудь — под место — все через несколько всюду: в во

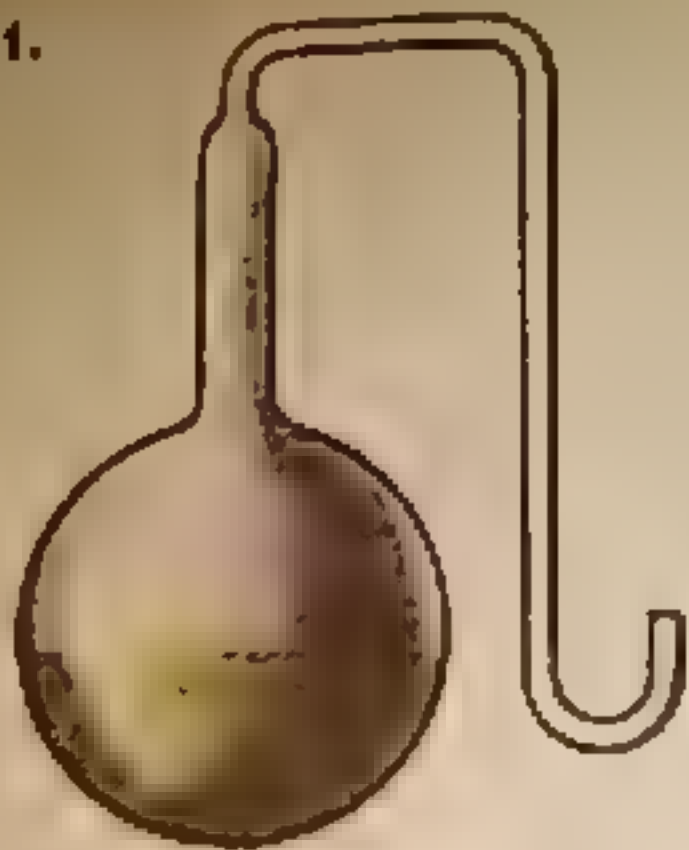
мудрецов» (философского камня), обладание которым будто бы наделяет человека безграничным могуществом, способностью превращать дешевые металлы в золото, воду — в вино, старость — в молодость. Законы природы не были известны. Считалось принципиально возможным осуществление любого самого фантастического замысла, для чего, как полагали, требовалось только знание рецепта и педантичное выполнение всех предписаний.

Не следует думать, что ложные представления в биологии — удел далекого средневековья. Всего 150 лет назад в Петербурге вышло четырехтомное сочинение, в котором описывалось, что жабы возникают из гниющих уток, скорпионы — из порошка высушенных скорпионов, раки — из золы сожженных раков. Не забудем, что такие «знания» распространялись в то время, когда давно уже было открыто дифференциальное и интегральное исчисление в математике, законы механики в физике, основные законы в химии. Как видно, развитие биологии еще очень долго и сильно отставало от развития физико-математических, точных наук. Видно также, что ложные представления, возникшие ряд столетий назад, оказались очень живучими. В связи с этим следует оценить усилия отдельных ученых, сумевших противопоставить этому морю суеверия и невежества факты истинной науки.

- ? 1. Как представляли себе происхождение организмов на Земле ученые в древней Греции, в средние века? 2. Как можно объяснить отставание биологии по сравнению с высоким уровнем развития математики, физики, химии в недалеком прошлом?

45. Доказательства невозможности самопроизвольного зарождения жизни в современную эпоху

На первом месте следует поставить имя итальянского врача Франческо Реди. В 1668 г. он опубликовал результаты следующих простых опытов. В 8 стеклянных сосудах было положено по куску свежего мяса. Четыре сосуда были оставлены открытыми, а четыре других были накрыты марлей. Через несколько дней в загнившем мясе появились «черви» (личинки мух). Однако они появились только на мясе, лежавшем в открытых сосудах. На мясе в сосудах, прикрытых марлей, червей не было. Это свидетельствует о том, что черви зарождаются не из самого мяса (как было принято считать), а из яиц, отложенных в мясе мухами. Это был неотразимый удар по представлению о самопроизвольном зарождении. Взгляды о самопроизвольном зарождении держались особенно долго в области микробиологии. Если мясной бульон, или раствор сахара, или еще какой-нибудь подобный отвар или раствор поставить в теплое место — все равно, в открытых или закрытых сосудах, — в них через несколько дней кишат микробы. Микробы находятся повсюду: в воде, воздухе, земле, в пыли, среди других организ-



Пастеровская колба.

мов; они появляются всегда при гниении и брожении. Казалось бесспорным, что вся природа проникнута жизнью и жизнь проявляется всегда при подходящих условиях тепла и влажности.

Вопрос о возможности самопроизвольного зарождения микроорганизмов был разрешен молодым украинским ученым М. М. Тереховским (1775). Он показал, что если мясной бульон прокипятить и сосуд запаять, то в нем никаких микробов не заводится. Этот опыт, казалось бы, вполне

не ясно говорил против самопроизвольного зарождения микробов. Однако ученые в то время сочли данные Тереховского неубедительными, так как полагали, что для зарождения жизни необходимо будто бы присутствие свежего воздуха.

Вопрос был окончательно разрешен спустя еще 80 лет. Исключительный интерес вопроса о происхождении жизни и о возможности самозарождения микробов побудил Парижскую академию наук в 1860 г. назначить премию за работу, содержащую разрешение этого вопроса. Премия была присуждена химику и бактериологу, замечательному экспериментатору Луи Пастеру. Пастер поместил бульон в склянку с длинным узким горлышком S-образной формы (рис. 81). Теперь воздух в сосуд проходил свободно, но микробы из воздуха проникнуть в него не могли, так как они должны были осесть в S-образном колене горлышка. Затем Пастер прокипятил бульон, чтобы убить всех находившихся в нем микробов. После этого сосуды были оставлены в спокойном месте. Теперь микробы в них не заводились. Проходили месяцы, и содержимое сосудов оставалось стерильным. Стоило, однако, один из таких сосудов повернуть так, чтобы содержащимся в нем бульоном обмыть S-образное колено горлышка и чтобы жидкость обратно стекла в колбу, в ней вскоре же начиналось гниение. Это происходило потому, что в бульон попадали споры и живые микробы, находившиеся в S-образной части горлышка. Таким образом, невозможность самопроизвольного зарождения микроорганизмов была убедительно и окончательно доказана.

Работы Пастера получили широкую известность и всеобщее признание. Во многом этому способствовало их крупное практическое значение. На основе их были созданы методы стерилизации, разработано учение об асептике и антисептике, при внедрении которых в медицину резко снизились осложнения и смертность после хирургических операций. Велико было значение этих работ и для развития консервной промышленности.

После
и безоговор
мативного
дается тол
мов. Этот
ма: «Все ж
же образом
чего живог

На
46. о п

Результ
возможности
в настоящ
из этих да
из неживо
каких усл
разом мог
гипотеза
ши жизни
ших) будт
сятся с пл
да выступ
С. Аррени
Эту же точ
химик ака
этого взгля
окружающ
ваны друг
ла связь
1 т метео
ли — до
метеорита
жизнеспос
ганизмы,
ложение,
ситься в
достигаю
лением с
ную подд
вых орган
щее врем
600 метео
дованию.
ческих ве
щие водо
на Земле
теоритах

После работ Реди, Тереховского, Пастера было единодушно и безоговорочно признано, что любой организм, от самого примитивного до самого сложного и высокоорганизованного, рождается только от своих родителей, т. е. от живых же организмов. Этот закон был сформулирован в виде краткого афоризма: «Все живое из живого». Но сразу же встал вопрос: каким же образом возникла жизнь на Земле, на которой до этого ничего живого не было?

46. Научный период исследования вопроса о происхождении жизни на Земле

Результаты опытов Пастера убедили научный мир в невозможности самопроизвольного зарождения жизни из неживого в настоящее время. Сам же Пастер и многие его современники из этих данных сделали вывод о том, что зарождение живого из неживого невозможно принципиально, т. е. никогда и ни при каких условиях. Для того чтобы все же объяснить, каким образом могла возникнуть жизнь на Земле, была предложена гипотеза вечности жизни. Мысль состояла в том, что зародыши жизни (споры растений, микроорганизмов, цисты простейших) будто бы рассеяны в космическом пространстве и переносятся с планеты на планету. Горячим сторонником этого взгляда выступил выдающийся ученый конца XIX в. физико-химик С. Аррениус — создатель теории электролитической диссоциации. Эту же точку зрения разделял крупный советский ученый, биогеохимик академик В. И. Вернадский. Существует ряд сторонников этого взгляда и в настоящее время. Они указывают, что Земля и окружающие ее планеты никогда не были полностью изолированы друг от друга. Напротив, между ними всегда существовала связь и обмен материей. В среднем на Землю падает около 1 т метеоритного вещества в сутки. Еще больше оседает пыли — до 250 т/сут. Ряд ученых предполагают, что вместе с метеоритами и пылью на Землю могут проникнуть живые и жизнеспособные организмы: споры, пыльца растений, микроорганизмы, цисты простейших и т. д. Аррениус высказал предположение, что мельчайшие зародыши жизни могли бы переноситься в космическом пространстве с громадными скоростями, достигающими нескольких тысяч километров в секунду под давлением света. Конечно, эта точка зрения получила бы серьезную поддержку, если бы было строго доказано присутствие живых организмов в космической пыли и в метеоритах. В настоящее время в музеях Европы и Америки хранится около 600 метеоритов. Многие из них подверглись подробному исследованию. В некоторых из них было открыто присутствие органических веществ. В других были найдены структуры, напоминающие водоросли, в третьих — какие-то окаменевшие, неизвестные на Земле формы организмов. Поиски живых организмов в метеоритах были, однако, до сих пор безуспешными.

Против гипотезы о переселении жизни на Землю с других планет были многочисленные возражения. Многие считали, что при перенесении организмов в космическом пространстве они будут убиты ультрафиолетовыми лучами, интенсивность которых в космосе очень велика. Говорили также, что ничто живое не в состоянии перенести ни низкую температуру космического пространства, ни высокую температуру, до какой нагревается метеорит, когда он пролетает через земную атмосферу. Однако академик А. А. Имшенецкий указал, что микроорганизмы, укрывшиеся в трещинах метеорита, могут быть надежно защищены от ультрафиолетового облучения, а из опытов ряда других ученых выяснилось, что многие споры и другие высушенные организмы способны переносить без вреда температуры, близкие к абсолютному нулю, а также достаточно высокие температуры (гораздо выше 100°C), особенно если они действуют кратковременно. Таким образом, все эти возражения, видимо, решающего значения не имеют. Более существенно другое, принципиальное возражение. Если бы даже было доказано, что на Землю могут попадать живые организмы с метеоритами и, следовательно, возможно, что жизнь на Земле возникла путем заноса ее с других планет, каким же образом возникла жизнь на этих других планетах? По данным космологии, история возникновения и история развития планет близки между собой. Все они проходят стадию звезд, т. е. стадию, когда они представляют собой раскаленные светящиеся тела, и, следовательно, в этот период температурные условия на их поверхности абсолютно несовместимы с жизнью. Каким же образом возникла жизнь на этих планетах? Приняв, таким образом, гипотезу о переселении жизни с планеты на планету, мы фактически уходим от решения вопроса о происхождении жизни. Вот почему эта гипотеза, хотя и не лишена правдоподобия, не пользуется признанием биологов.

Гораздо больший интерес привлекает другая точка зрения, согласно которой жизнь возникла на самой Земле из неорганической, т. е. неживой, материи. Согласно этой точке зрения, разработанной главным образом трудами советского ученого академика А. И. Опарина, на Земле и на других планетах на одном из этапов их длительной эволюции возникают условия, при которых становится возможным и даже неизбежным возникновение жизни.

Вернемся снова к далекому прошлому Земли и других планет, когда они представляли собой раскаленные газообразные шары. По сравнению с массой Солнца массы планет были невелики. Поэтому термоядерные реакции закончились на них раньше, чем на Солнце, и планеты начали остывать. Они продолжали вращаться, и содержащиеся в них тяжелые атомы (никеля, железа) концентрировались в центре, более легкие атомы (кремния, алюминия) собирались в средние слои, а самые легкие атомы (водорода, углерода, азота, кислорода) располагались на поверхности. Это обстоятельство представляется

весьма много
главным обра
Когда те
 2000°C , атом
образовывал
дал H_2O , вод
родом — CO
углерод и аз
и т. д. Кро
атомы водор
 N_2 , O_2 . Про
люнов лет)
такой степе
ставляющих
нения водор
 CO_2 и др.
Многие из
ном состоян
ее атмосф
жидкости, з
ла тонкая
Целость ко
сотрясавши
ры, и из н
ленной лав
глубокие в
горячей. У
эпоху, воз
настоящее
нетная ста
Венеры и
планеты и
оказалась
дится в ж
когда тем
она сейчас
сотни кило
Когда
начались
тысячелет
и образов
творялись
другие ве
В ту д
лучение С
и то врем
ность Зем
ду вещес
бежно до
зультате

весьма многозначительным, так как из этих легких элементов главным образом и состоят организмы (стр. 134).

Когда температура наружных слоев планеты упала до 2000°C , атомы разных элементов соединялись друг с другом и образовывали химические соединения. Водород с кислородом дал H_2O , водород с углеродом — метан (CH_4), углерод с кислородом — CO_2 , водород с азотом — аммиак (NH_3), водород, углерод и азот образовали цианистоводородную кислоту (HCN) и т. д. Кроме соединений между разными атомами, свободные атомы водорода, азота и кислорода соединялись в молекулы H_2 , N_2 , O_2 . Прошло еще много тысячелетий (или, может быть, миллионов лет), прежде чем поверхность планеты охладилась до такой степени, что начало изменяться агрегатное состояние составляющих ее веществ. Наиболее легкие, низкокипящие, соединения водорода, углерода, азота и кислорода — H_2 , N_2 , CH_4 , CO_2 и др. — газообразны в широком интервале температур. Многие из них существуют и до сих пор на Земле в газообразном состоянии. Они образуют самый наружный слой Земли — ее атмосферу. Более высококипящие вещества превращались в жидкости, затем они затвердевали. Образовалась кора — сначала тонкая и хрупкая, затем все более массивная и прочная. Целость коры часто нарушалась: она вспучивалась от взрывов, сотрясавших ее недра, в разных местах образовывались кратеры, и из них на поверхность Земли извергались массы раскаленной лавы. На поверхности планеты образовались горы и глубокие впадины. Поверхность ее еще долго оставалась очень горячей. Условия, господствовавшие на Земле в ту далекую эпоху, возможно, напоминают условия, которые существуют в настоящее время на Венере. Как известно, советская межпланетная станция «Венера-4» плавно опустилась на поверхность Венеры и провела ряд исследований свойств атмосферы этой планеты и ее поверхности. Температура у поверхности Венеры оказалась равной 280°C . При такой температуре олово находится в жидком состоянии, а вода — в виде пара. В ту эпоху, когда температура на поверхности Земли была такой, какая она сейчас на Венере, на Земле не было воды. Над Землей на сотни километров стояли густые облака водяного пара.

Когда температура на поверхности Земли стала ниже 100°C , начались проливные дожди. Они шли день и ночь в течение тысячелетий, вода наполняла впадины на земной поверхности, и образовались моря и океаны. В горячей дождевой воде растворялись NH_3 , CO_2 , CH_4 , HCN из атмосферы, а также соли и другие вещества, вымываемые из поверхностных слоев Земли.

В ту далекую эпоху Солнце светило ярче, чем теперь, и излучение Солнца представляло мощный источник энергии. Грозы в то время были часты и необычны по своей силе, и в поверхность Земли то и дело ударяли молнии. В таких условиях между веществами, растворенными в первобытном океане, неизбежно должны были происходить химические реакции, в результате которых могли образоваться органические соединения.

Первым шагом на пути возникновения жизни на Земле стал небиологический (абиогенный) синтез органических молекул из неорганических.

Для изучения химических реакций, которые могли происходить на Земле в условиях, существовавших на ней несколько миллиардов лет назад, американский химик Миллер сконструировал аппарат, устройство которого понятно из рисунка 82. В аппарат (через край А) вводятся некоторые вещества, которые могли находиться в воде первобытного океана: H_2O , CO_2 , NH_3 , CH_4 . Колбочка (Б) подогревается, и вода в ней кипит, водяной пар заполняет аппарат, и температура в нем поддерживается около $80^\circ C$. В расширенной части аппарата в стенки впаиваются 2 электрода и пропускается ток, дающий искровые разряды. В холодильнике водяной пар конденсируется и воду, которая стекает обратно в колбочку. Аппарат хорошо герметизирован и работает непрерывно в течение многих часов. Уже в первые дни было отмечено изменение цвета жидкости в колбочке: из бесцветной она стала желтой, а к исходу недели темно-коричневой. При анализе раствора в нем было обнаружено присутствие большого числа разнообразных органических соединений: спиртов, альдегидов, кислот, сахаров, аминокислот и др. Сходные результаты были получены советскими учеными Пасынским и Павловской. Они исследовали действие фактора, действие которого в начальные периоды существования Земли было, вероятно, еще большим, чем электрические разряды, — ультрафиолетового излучения.

Вполне ясно, таким образом, что на Земле в древнюю эпоху могло происходить образование органических соединений. Органические молекулы вступали во взаимодействие друг с другом и образовывали более сложные соединения. В течение миллионов лет возникали и разрушались бесчисленные варианты новых соединений — от простых до самых сложных и высокомолекулярных. Среди них могли быть, по-видимому, вещества любых классов органических соединений: и углеводы, и жиры, и белки, и нуклеиновые кислоты.

Органические вещества накапливались в воде первобытного океана. Они находились там поначалу в виде очень разбавленного раствора. Но для жизни характерно не однородное распределение вещества, а сгущение его и образование индивидуальных, обособленных от внешней среды систем — организмов.

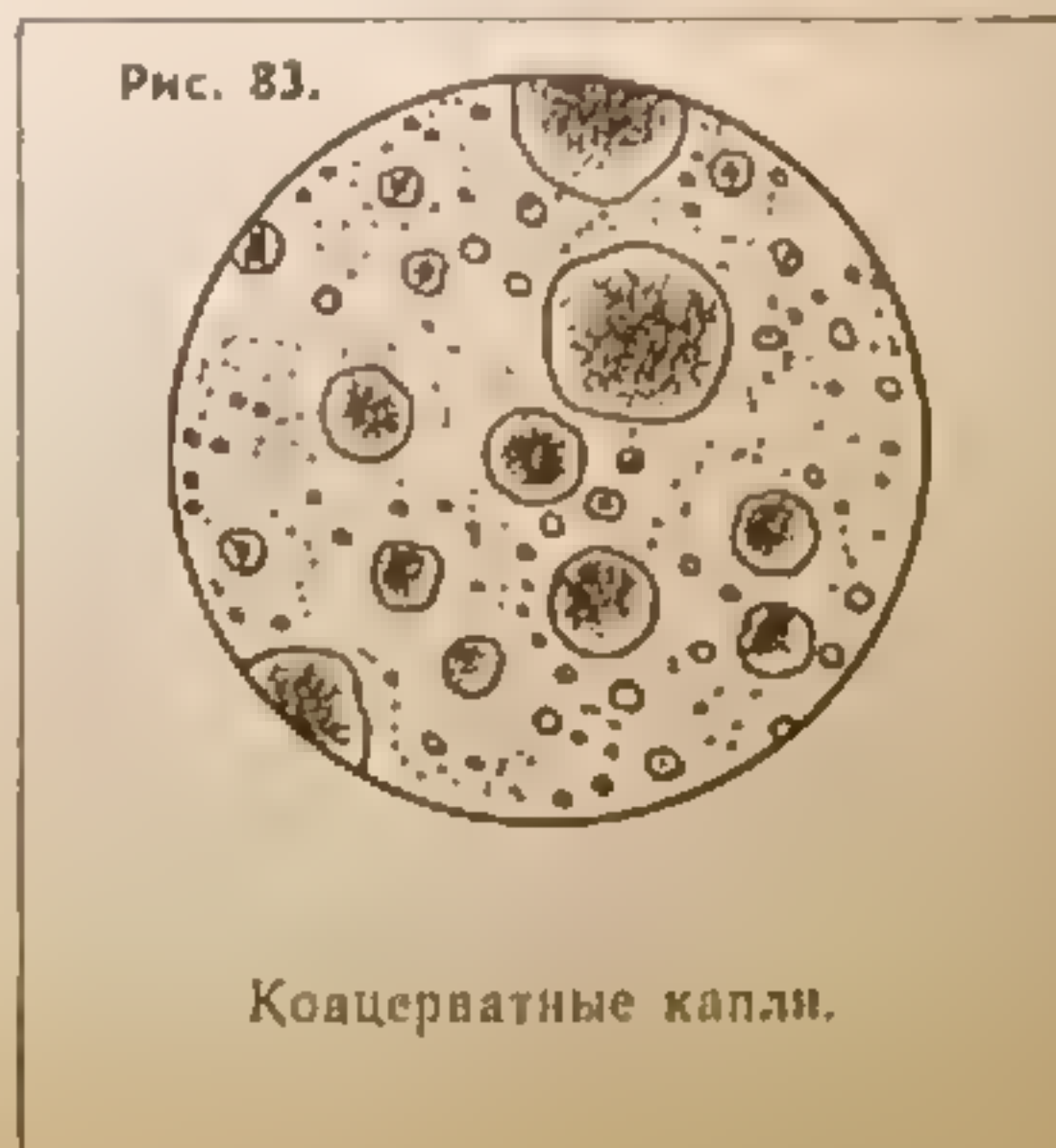
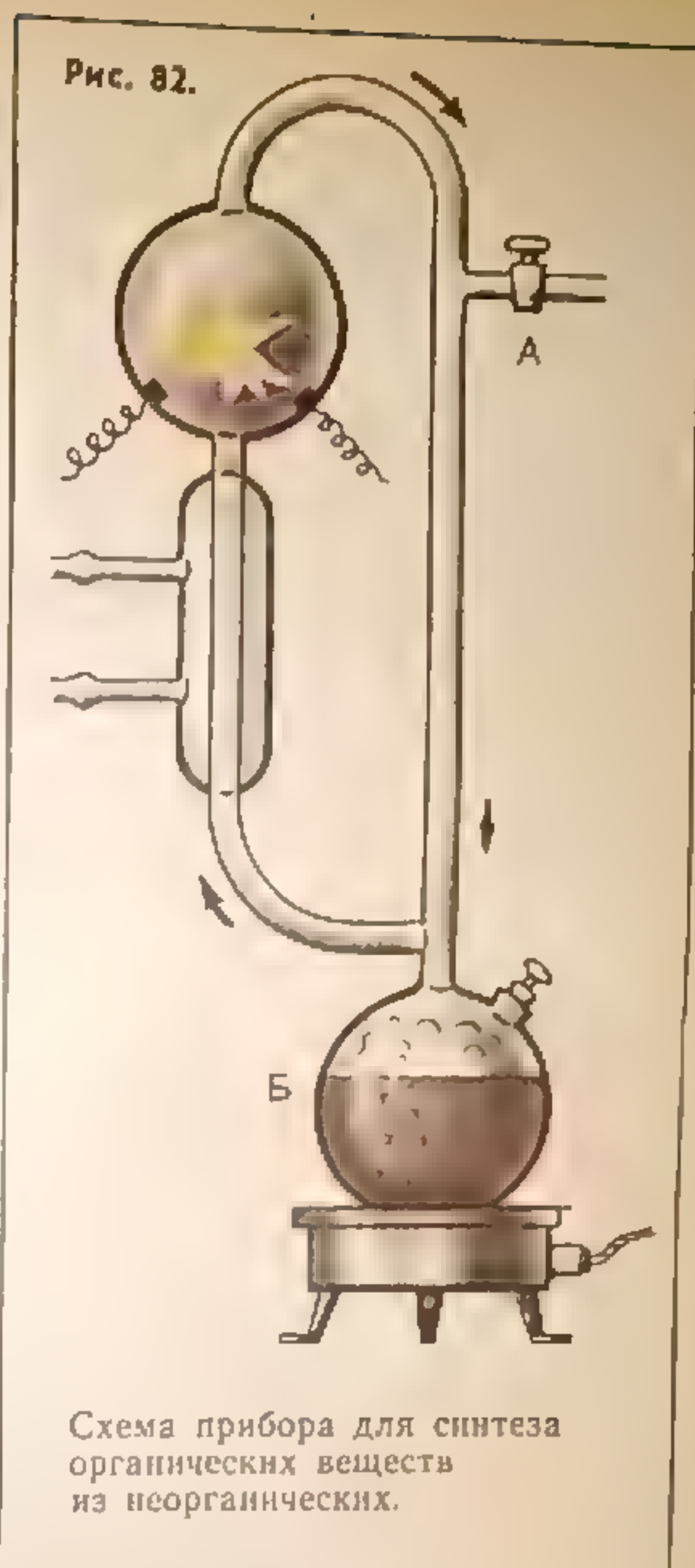
Вторым шагом на пути возникновения жизни на Земле был процесс концентрирования органических веществ.

Как происходил этот процесс, сказать трудно. Возможно, что сгустки органических веществ осаждались на прибрежном песке или в виде пены выделялись на поверхность воды. Академик Опарин считает наиболее вероятным, что этот процесс происходил в силу присущей всем высокомолекулярным веществам способности самопроизвольно концентрироваться и образовывать так называемые коацерваты. Явление коацервации состоит в том, что при некоторых условиях (например, в присутствии

электролитов) высокомолекулярные вещества отделяются из раствора, но не в форме осадка, а в виде раствора же, но более концентрированного. Таким образом, раствор, оставаясь жидкостью, расслаивается на два несмешивающихся раствора, отличающихся по концентрации высокомолекулярного вещества. Более концентрированный раствор и называется коацерватом.

При встряхивании коацервата он разбивается на мелкие капельки (рис. 83). Капельки коацервата представляют собой многомолекулярную систему, обладающую простейшей организацией. Благодаря более высокой концентрации органических веществ в коацервате и, следовательно, более тесному расположению молекул возможность их взаимодействия между собой резко увеличивается. Таким образом, благодаря концентрированию органических веществ возможности органического синтеза значительно расширяются.

Исследования академика А. И. Опарина показали, что капельки коацервата проявляют ряд свойств, внешне напоминающих свойства живой системы: они, например, способны поглощать из окружающего раствора различные вещества. Это напоминает процесс питания. В результате поглощения веществ капельки коацервата увеличиваются в размерах. Внешне это сходно с процессом роста клетки. Можно подобрать такие условия опыта, при которых вещества, поглощенные коацерватом,



будут вступать между собой в реакцию, а продукты этой реакции будут выделяться из коацервата в окружающую среду. Это похоже на процесс выделения из клетки продуктов обмена веществ. По мнению А. И. Опарина, между капельками коацервата происходит даже нечто напоминающее борьбу за существование, в результате которой в целости остаются капельки, более устойчивые, более приспособленные к окружающей среде.

Хотя коацерваты и по своей форме, и по некоторым свойствам внешне напоминают живые объекты, они являются, конечно, неживыми образованиями. В них еще отсутствует главный признак живого организма — способность к воспроизведению одних и тех же молекул, входящих в его состав, в них нет еще столь характерной для живой системы способности к самообновлению своего состава.

Третьей и последней ступенью к созданию жизни и явилось возникновение процесса самовоспроизведения молекул.

Изучая биосинтез белка (стр. 166), мы познакомились с полинуклеотидами — ДНК и РНК и замечательной способностью их к редупликации. Полинуклеотиды содержатся на всех ступенях эволюции во всех живых системах, от самых простых до самых сложных — от вирусов до нервных клеток человека. Возможно, что первыми самовоспроизводящимися молекулами могли быть также полинуклеотиды. Первобытные полинуклеотиды были, наверное, значительно проще, чем современные, и содержали всего один-два десятка звеньев. Процесс редупликации происходил у них, вероятно, медленнее, чем в наше время. Однако сборка на молекуле такой же по составу и структуре другой молекулы означала возникновение нового принципа химического синтеза — матричного синтеза, столь характерного для живых систем.

Конечно, в истории этого перехода от коацервата к простейшей системе, способной к самовоспроизведению, многое еще неясно. В этом процессе у современных нам клеток участвуют, кроме самовоспроизводящейся молекулы, также ферменты, катализирующие процесс «сшивания» полинуклеотида. Для осуществления этого процесса необходимо также присутствие молекул АТФ, поставляющей энергию. Впрочем, возможно, что все эти необходимые компоненты процесса самовоспроизведения были в воде первобытного океана и поглощались капельками коацервата. Возможно, что первобытные существа были подобны современным вирусам, которые по своему составу представляют собой почти чистый полинуклеотид. Правда, современные вирусы способны размножаться только внутри живой клетки. Возможно, однако, что на заре жизни предки нынешних вирусов могли размножаться в капельках коацервата, так как в них могли быть все необходимые для этого условия.

В процессе воспроизведения полинуклеотидных молекул в некоторых случаях возникают «ошибки», т. е. новая молекула полинуклеотида не вполне точно копирует исходную. В дальнейшем, однако, происходит копирование уже этой новой, из-

мененной молекулы. Таким образом, возникают изменения, называемые мутациями. Частота их резко повышается при воздействии излучений, особенно ионизирующих излучений.

Первобытные организмы по способу питания были настоящими гетеротрофами, так как они использовали уже готовые органические вещества. Питание в этот период еще не было острой проблемой: первичный океан содержал достаточное количество разнообразных соединений. По мере размножения организмов запасы органических веществ, однако, иссякали, а синтез новых не поспевал за потребностью. Началась борьба за пищу, в которой выживали более активные, более стойкие и приспособленные. Случайно приобретенные в результате наследственных изменений защитные приспособления, или особенности строения, или особенности характера обмена веществ закреплялись отбором, если они давали хотя бы небольшие преимущества выжить. По-видимому, именно в результате действия отбора закреплялись многие свойства живых образований, приведшие к превращению первичных организмов в современные вирусы и клетки. Так, например, образовалась защитная оболочка вокруг нуклеиновой кислоты у вирусов или возник слой цитоплазмы вокруг ядра, образовалась поверхностная мембрана у клеток и т. д.

Крупным шагом на пути эволюции жизни было возникновение автотрофного питания. В условиях все уменьшающихся запасов органических соединений у некоторых организмов возникла способность к самостоятельному синтезу органических соединений из простых неорганических веществ окружающей среды. Энергию, необходимую для такого синтеза, некоторые организмы стали освобождать путем простейших химических реакций окисления и восстановления. Так возник хемосинтез, который и в настоящее время является источником энергии у некоторых бактерий.

Но особенно крупным прогрессивным изменением типа организации было возникновение фотосинтеза. Видимый свет Солнца представлял неисчерпаемый, постоянный источник энергии. По-видимому, еще на заре жизни у каких-то организмов возникли окрашенные молекулы, предшественники современного хлорофилла, катализировавшие реакции фотолиза воды, синтеза АТФ и НАДФ·H₂ с использованием солнечной энергии. Возникновение и развитие фотосинтеза оказало громадное влияние на дальнейшую эволюцию жизни. В период возникновения жизни как в атмосфере, так и в океане не осталось свободного кислорода: этот активный элемент был связан другими элементами и находился в составе различных неорганических веществ. Поэтому первоначально организмы получали энергию путем бескислородных реакций органических веществ (стр. 157). Этот путь получения энергии, как мы знаем, малоэффективен и требует большого количества пищи. С развитием фотосинтеза и появлением в атмосфере и воде свободного кислорода возник новый путь освобождения энергии — кислородный путь расщепления

(стр. 159). Кислородный процесс примерно в 20 раз эффективнее бескислородного, и организмы, выработавшие способность к дыханию, стали быстро и успешно развиваться.

Фотосинтез способствовал развитию жизни на Земле еще иным путем. Дело в том, что Земля в период возникновения на ней жизни подвергалась интенсивному воздействию излучения Солнца, которое было губительно для жизни. Вода поглощает излучение, поэтому жизнь первоначально была возможной только в океане. По мере развития фотосинтезирующих организмов и накопления кислорода часть его превращалась в озон, обладающий способностью интенсивно поглощать ультрафиолетовое и ионизирующее излучение. В результате на Землю попадало все меньше и меньше губительного излучения и стала возможной жизнь на суше. Жизнь «вышла» из воды и распространилась по всей поверхности Земли.

Часто спрашивают: «Возможно ли возникновение жизни на Земле небιологическим путем в наше время?» По-видимому, невозможно, так как, если бы где-нибудь произошло образование органических веществ, они немедленно были бы поглощены гетеротрофными организмами. В наше время живые тела возникают только биологическим путем, т. е. в процессе рождения от подобных себе существ.

- ?** 1. В чем сущность гипотезы о вечности жизни и почему эта гипотеза не пользуется признанием среди биологов? 2. Охарактеризуйте основные этапы зарождения жизни на Земле по представлениям академика А. И. Опарина. 3. Какое значение для развития жизни на Земле имело возникновение фотосинтеза? 4. Какие известны экспериментальные доказательства возможности абиогенного синтеза органических соединений?

РАЗМНОЖЕНИЕ И ИНДИВИДУАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ

Глава VIII.

ОРГАНИЗМОВ

Размножение, или способность к самовоспроизведению, — одно из основных свойств всех живых организмов — от бактерий до млекопитающих и цветковых растений. Благодаря ему обеспечивается существование каждого вида, поддерживается преемственность между родительскими особями и их потомством. Формы размножения организмов разнообразны и будут рассмотрены ниже.

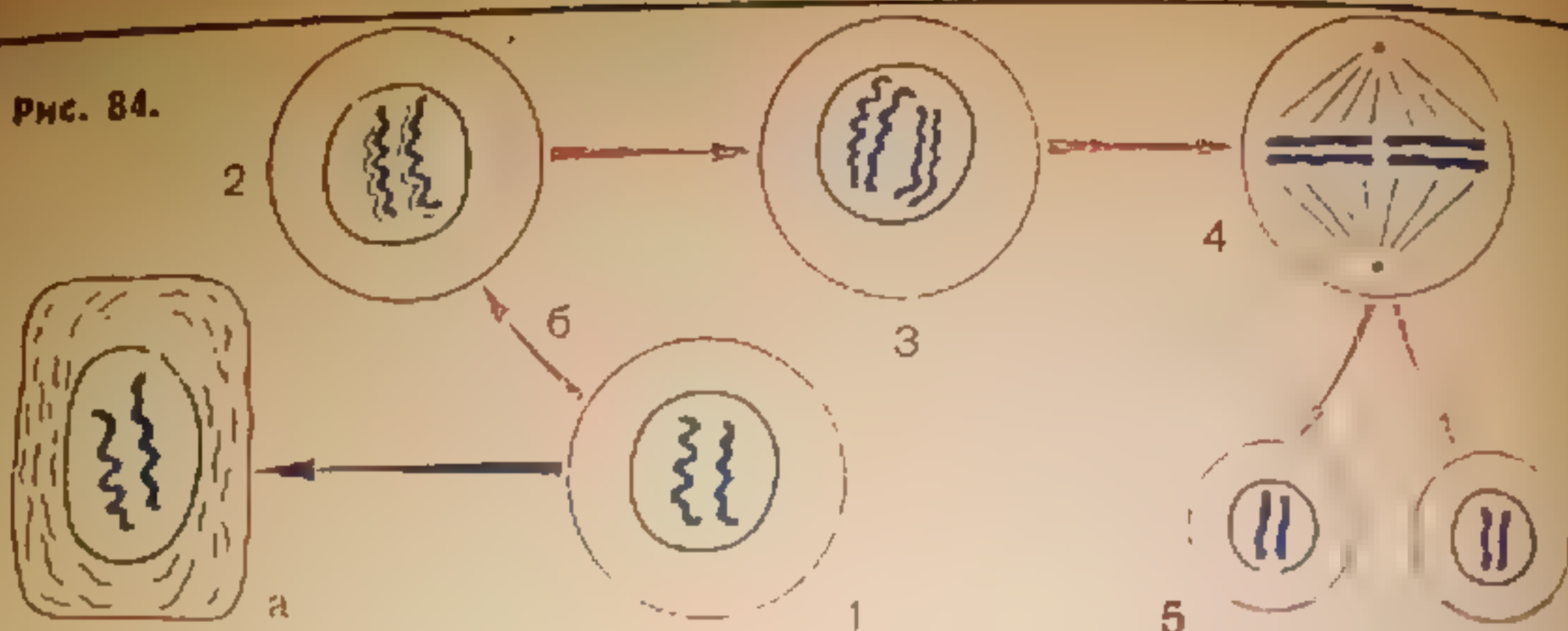
В основе всех форм размножения лежит деление клетки, протекающее довольно сходно у растений и животных. Поскольку сложные процессы, связанные с половым размножением, возникли на основе деления клетки, мы прежде всего рассмотрим процесс, приводящий к образованию из одной клетки двух.

47. Митотическое деление клетки

Интерфаза и различные способы деления клеток. Различают два способа деления: 1) наиболее распространенное, полноценное деление — митоз (непрямое деление) и 2) амитоз (прямое деление). Во время митотического деления происходит перестройка цитоплазмы, разрушение оболочки ядра, выявление хромосом. В жизни клетки выделяют период самого митоза и промежуток между делениями, который называют интерфазой. Однако период интерфазы (неделяющейся клетки) по своей сущности может быть различным. В одних случаях во время интерфазы клетка функционирует и одновременно готовится к следующему делению (рис. 84). В других случаях клетки переходят в интерфазу, функционируют, но уже не готовятся к делению. В составе сложного многоклеточного организма имеются многочисленные группы клеток, утратившие способность делиться. К числу их относятся, например, нервные клетки (рис. 47). Подготовка клетки к митозу происходит в интерфазе. Для того чтобы представить себе основные черты этого процесса, вспомните строение клеточного ядра.

Основной структурной единицей ядра являются хромосомы, состоящие из ДНК и белка. В ядрах живых неделящихся клеток, как правило, отдельные хромосомы неразличимы, но большая часть хроматина (стр. 128), которую на окрашенных препаратах обнаруживают в форме тонких нитей или зерен различной величины, и соответствует хромосомам. У некоторых клеток отдельные хромосомы отчетливо видны и в интерфазном ядре, например в быстро делящихся клетках развивающегося оплодотворенного яйца и ядрах некоторых простейших. В раз-

Рис. 84.



Схема, иллюстрирующая цикличность периодов интерфазы и митоза:
 1 — клетка в периоде, когда она может либо начать подготовку к делению (указано красной стрелкой), либо перестать делиться, только функционировать (синяя стрелка); 2 — интерфаза, во время которой начинается подготовка к делению; 3 — клетка, в ядре которой уже удвоились хромосомы; 4 — метафаза делящейся клетки; 5 — две образовавшиеся после деления клетки.

личные периоды жизни клетки хромосомы претерпевают циклические изменения, которые прослеживаются от одного деления до другого.

Хромосомы во время митоза представляют собой удлиненные плотные тельца, по длине которых можно различать две нити — хроматиды, содержащие ДНК, представляющие собой результат удвоения хромосом (рис. 85). На каждой хромосоме выделяется первичная перетяжка, или центромера. Эта суженная часть хромосомы может быть расположена или посередине, или ближе к одному из концов, но для каждой определенной хромосомы ее место строго постоянно. Во время митоза хромосомы и хроматиды представляют собой туго свернутые спиральные нити (спирализованное, или конденсированное, состояние). В интерфазном ядре хромосомы сильно вытянуты, т. е. деспирализованы, благодаря чему становятся трудно различимыми. Следовательно, цикл изменения хромосом состоит в спирализации, когда они укорачиваются, утолщаются и становятся хорошо различимыми, и деспирализации, когда они сильно вытягиваются, переплетаются, и тогда уже различить каждую в отдельности становится невозможно. Спирализация и деспирализация связаны с деятельностью ДНК, так как она функционирует только в деспирализованном состоянии. Выдача же информации, образование РНК на ДНК в спирализованном состоянии, т. е. во время митоза, прекращается.

Тот факт, что хромосомы присутствуют в ядре неделящейся клетки, доказывается также постоянством количества ДНК, числа хромосом и сохранением от деления до деления их индивидуальности.

Подготовка клетки к митозу. В течение интерфазы происходит ряд процессов, которые обеспечивают митоз. Назовем главные из них: 1) удваиваются центриоли, 2) удваиваются хромосомы, т. е. количество ДНК и хромосомальных белков, 3) синтезируются белки, из которых строится ахроматиновое перетено.



4) накапливается энергия в виде АТФ, которая расходуется во время деления, 5) заканчивается рост клетки.

Первостепенное значение в подготовке клетки к митозу имеет синтез ДНК и удвоение хромосом.

Удвоение хромосом связано прежде всего с синтезом ДНК и одновременно происходящим синтезом белков хромосом. Процесс удвоения продолжается 6—10 часов и занимает среднюю часть интерфазы. Удвоение хромосом протекает так, что каждая старая

одиночная цепь ДНК строит себе вторую (стр. 151). Этот процесс строго упорядочен и, начинаясь в нескольких точках, распространяется вдоль всей хромосомы.

Митоз. Фазы митоза. Митоз представляет собой универсальный способ деления клеток растений и животных, основная сущность которого состоит в точном распределении удвоенных хромосом между обеими образующимися дочерними клетками. Подготовка клетки к делению имеет как мы видим, значительную часть интерфазы, которая заканчивается только тогда, когда подготовка в ядре и цитоплазме полностью заканчивается (рис. 86). Весь процесс митоза делится на четыре фазы. Во время первой из них — *профазы* — центриоли делятся и начинают расходиться в противоположные стороны. Вокруг них из цитоплазмы образуются ахроматидные нити, которые вместе с центриолями образуют ахроматидное веретено. Когда закончится расхождение центриолей, вся клетка оказывается погруженной, обе центриоли располагаются у противоположных полюсов, а средняя плоскость может быть названа экватором. Нити ахроматидного веретена сходятся у центриолей и широко расходятся на экваторе, по форме напоминают веретено. Одновременно с образованием в цитоплазме веретена sharply начинает разбухать, и в нем четко выделяется клубок утолщенных нитей — хромосом. На протяжении профазы происходит спирализация хромосом, которые при этом укорачиваются и утолщаются. Профаза заканчивается растворением ядерной оболочки, а хромосомы оказываются лежащими в цитоплазме. В это время видно, что все хромосомы уже двойные (рис. 86, 2).

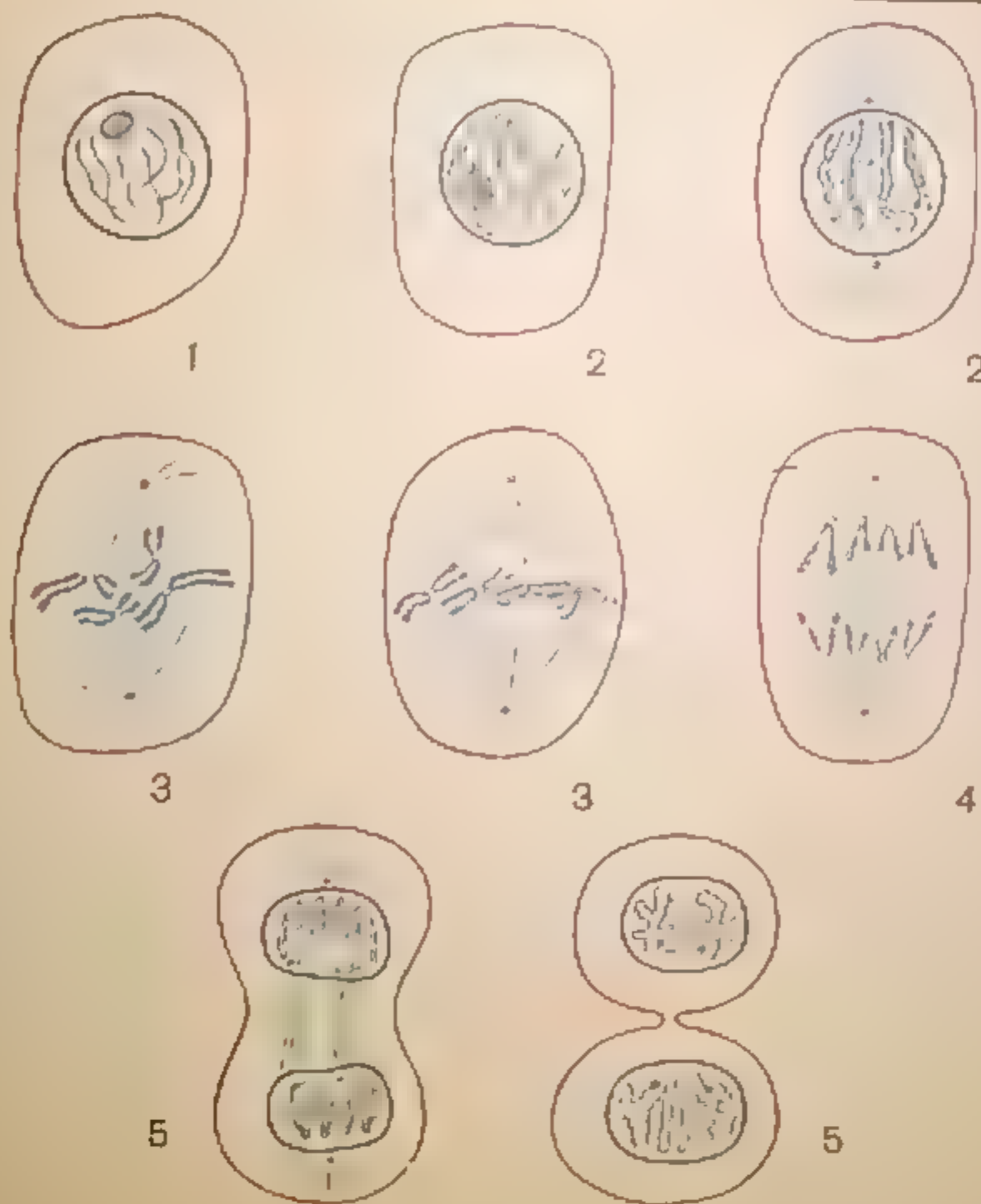
Затем наступает вторая фаза — *метафаза*. Хромосомы, расположенные сначала беспорядочно, начинают передвигаться к экватору. Все они обычно располагаются в одной плоскости на равном расстоянии от центриолей. В это время к хромосомам прикрепляется часть нитей веретена, другая же часть их по-прежнему тянется непрерывно от одной центриоли до другой —

это опорные нити. Тянущие, или хромосомальные, нити прикрепляются к центромерам (первичным перетяжкам хромосом), но при этом нужно помнить, что как хромосомы, так и центромеры уже двойные. Тянущие нити от полюсов прикрепляются к тем хромосомам, которые к ним ближе. Наступает короткая пауза. Это центральная часть митоза, после которой начинается третья фаза — анафаза.

Во время анафазы тянущие нити веретена начинают сокращаться, растягивая хромосомы к разным полюсам. При этом хромосомы ведут себя пассивно, они, изгибаясь наподобие шпильки, двигаются вперед центромерами, за которые их тянет нить веретена. В начале анафазы снижается вязкость цитоплазмы, что способствует быстрому движению хромосом.

Следовательно, нити веретена обеспечивают точное расхождение хромосом (удвоившихся еще в интерфазе) к разным полюсам клетки.

Рис. 86.



Митоз клетки животных:

1 — ядро неделящейся клетки. Видно крупное ядрышко; 2 — две стадии профазы. Центриоли разошлись к разным полюсам, отчетливо видны уже двойные хромосомы; 3 — две стадии метафазы. Ядерная оболочка растворилась. Тянувшие нити веретена прикреплены к первичным перетяжкам хромосом, изображенным на рисунке белыми кружками; 4 — анафаза, хромосомы разошлись к разным полюсам; 5 — две стадии телофазы. Реконструкция ядер, образование перетяжки, разделяющей цитоплазму.

Рис.

Ан
ж

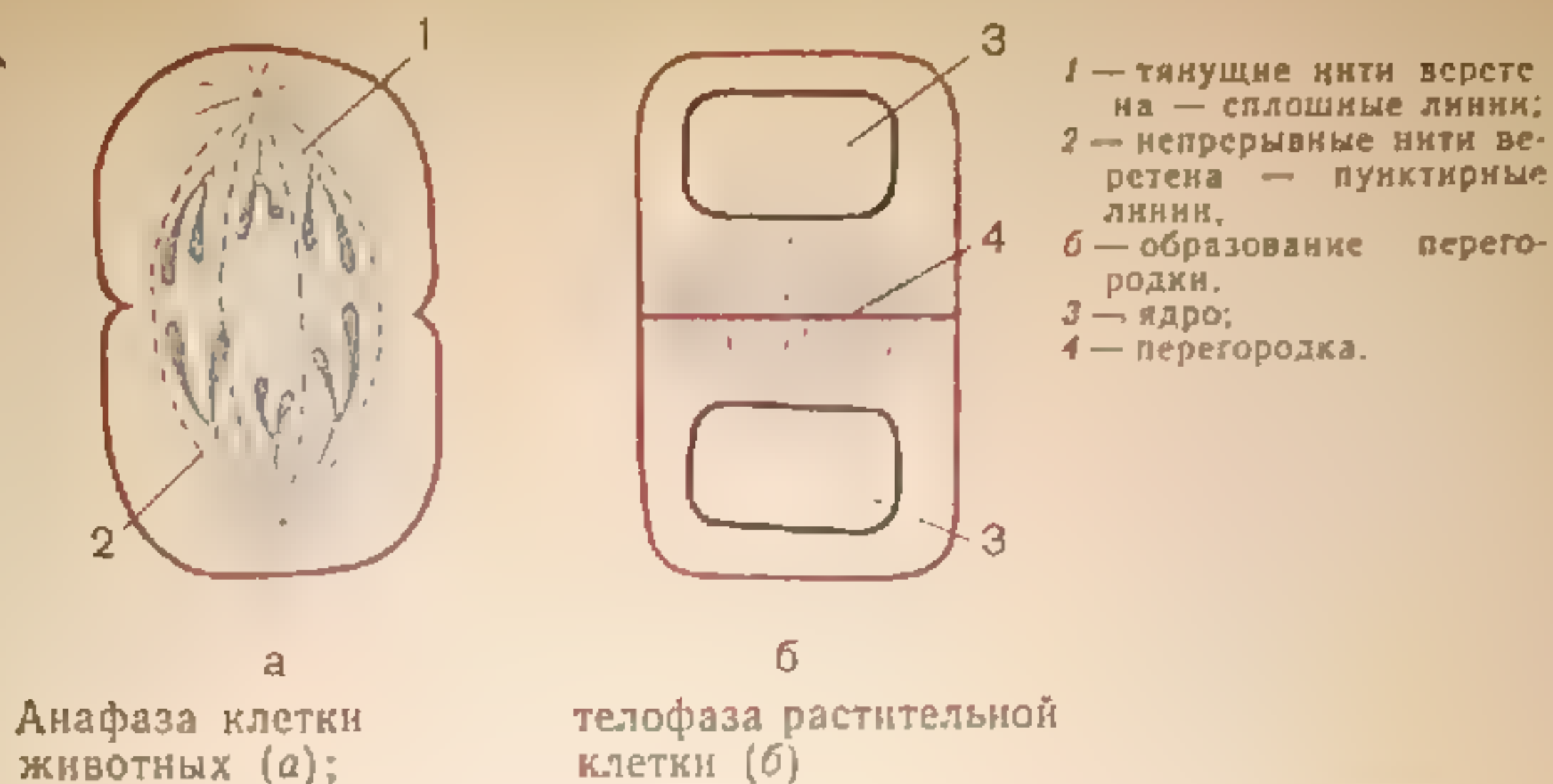
За
сомы,
гом. (с
ция),
ным.
ядро
прежн

В
цитоп.
ляется
меньш
оболоч
рифер
плазм
люлоз
ки акт
держи
тиновс
их пра
ми кл

Пр
тельно
интерф

Эпите
Эпите
Клетки

Рис. 87.



Завершается митоз последней стадией — *телофазой*. Хромосомы, приближаясь к полюсам, тесно переплетаются друг с другом. Одновременно начинается их вытягивание (деспирализация), и различить отдельные хромосомы становится невозможным. Постепенно из цитоплазмы образуется ядерная оболочка, ядро разбухает, появляется ядрышко, и восстанавливается прежнее строение интерфазного ядра.

В конце анафазы или в начале телофазы начинается деление цитоплазмы. У клеток животных снаружи в виде кольца появляется перетяжка, которая, углубляясь, разделяет клетку на две меньших размеров (рис. 87, а). У растений цитоплазматическая оболочка возникает в середине клетки и распространяется к периферии, разделяя клетку пополам. Уже после образования плазматической оболочки у растительных клеток возникает целлюлозная оболочка (рис. 87, б). Следовательно, в делении клетки активное участие принимает и ядро, и цитоплазма. Ядро содержит уникальные структуры клетки — хромосомы, а ахроматиновое веретено, формирующееся из цитоплазмы, осуществляет их правильное и равное распределение между обеими дочерними клетками.

Продолжительность митоза и интерфазы. Митоз — относительно короткий период в жизни клетки, гораздо дольше длится интерфаза, что видно из таблицы.

Клетки ткани	Продолжительность в ч	
	интерфазы	митоза
Эпителий тонкой кишки мыши	12—18	0,5—1
Эпителий двенадцатиперстной кишки мыши	11	0,5
Клетки корешка конского боба	25	3

Рис. 88.



Диплоидный набор хромосом в клетках:

1 — человека; 2 — растения скерды;
3 — комара; 4 — курицы

В быстро размножающихся клетках митоз может длиться всего несколько минут. Следовательно, продолжительность митоза варьирует от нескольких минут до 2—3 ч. Интерфаза же длится от 8—10 ч. до нескольких суток.

Скорость, с которой протекают отдельные фазы митоза, также различна:

Профаза	20—35 мин.
Метафаза	6—15 »
Анафаза	8—14 »
Телофаза	10—40 »

1. Каковы способы деления клеток и чем они характеризуются? 2. Что такое акроматиновое веретено и когда оно образуется в клетке? 3. Когда происходит удвоение хромосом? 4. В каком состоянии находятся хромосомы в интерфазе и во время митоза? 5. Какова роль первичной перетяжки (центромера) в расхождении хромосом?

48. Постоянство количества и индивидуальность хромосом

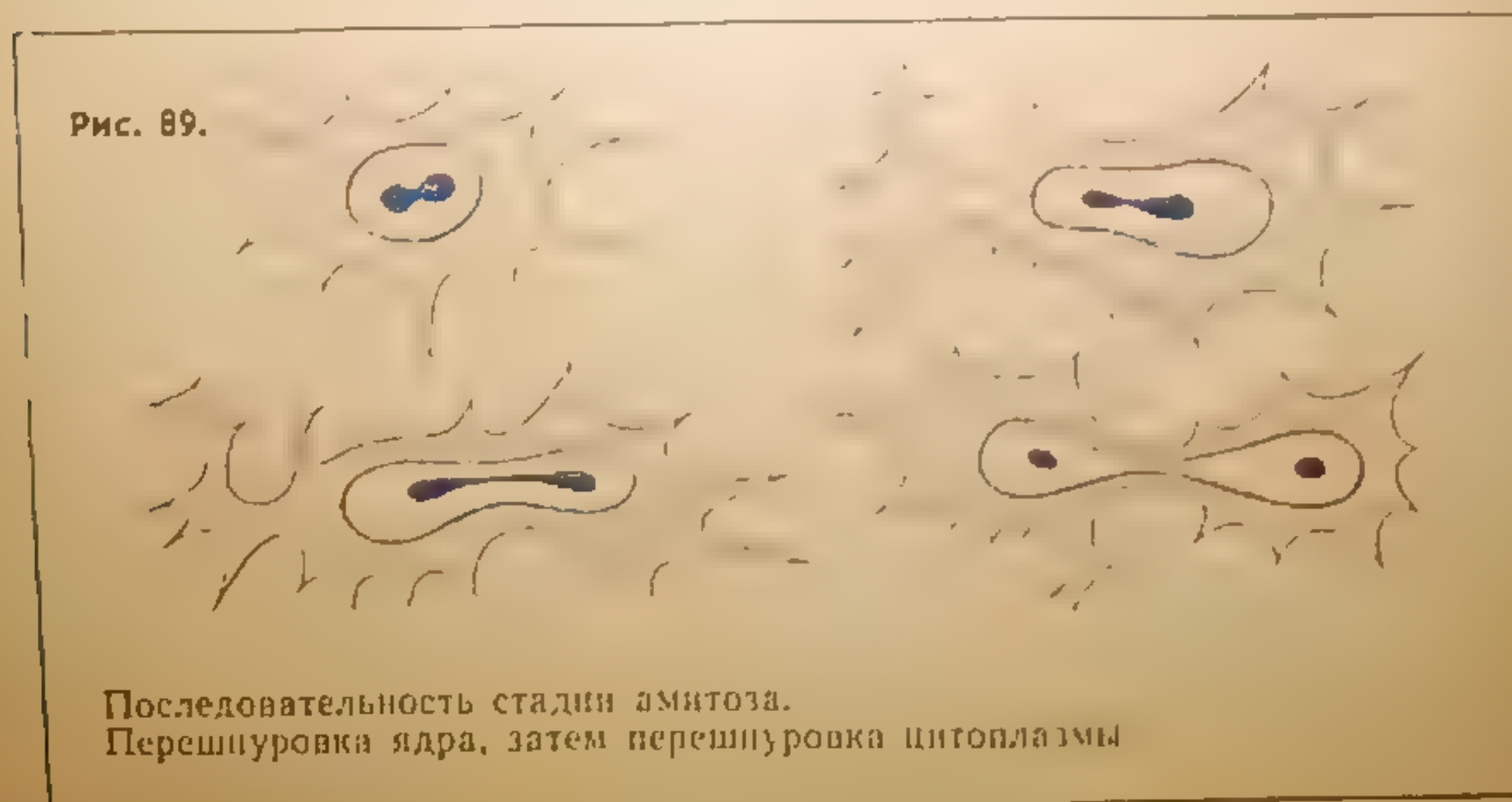
Хромосомы состоят из ДНК и белка, т. е. по своему химическому составу они все сходны, но различаются по форме и размерам, месту положения первичной перетяжки, наличию вторичных перетяжек. Изучение хромосом многих растений и животных показало, что они обладают определенной индивидуальностью. Кроме того, было обнаружено, что все хромосомы (за исключением так называемых половых) образуют гомологичные пары. Парный набор характерен для соматических клеток (неполовых) и носит название *диплоидного*. На рисунке 88 изображены шесть хромосом растения скерды, относящегося к семейству сложноцветных. Эти шесть хромосом образуют три различающиеся между собой пары. Однако не всегда хромосомы хо-

рошо различимы, 3 пары хромосом комара по внешним признакам трудно различимы (рис. 88, 3). Количество хромосом и их индивидуальность сохраняются во всех клетках и являются характерными признаками для каждого вида. На таблице приведены данные о количестве хромосом у некоторых видов растений и животных:

Вид	Диплоидное число хромосом	Вид	Диплоидное число хромосом
Ячмень	14	Домашняя муха . .	12
Овес	42	Курица	78
Томат	24	Кролик	44
Скерда	6	Коза	60
Плодовая мушка дрозофила	8	Овца	54
		Шимпанзе	48
		Человек	46

Амитоз. Амитоз представляет собой деление ядра в интерфазном состоянии без предшествующей спирализации хромосом и перестройки ядра. Например, в некоторых клетках соединительной ткани ядро вытягивается, посередине появляется перетяжка, которая углубляется, и в клетке оказывается два ядра. Затем такая же перетяжка начинает делить цитоплазму, и получается две клетки (рис. 89). Во многих случаях делится только ядро, и в результате клетки становятся дву- или многоядерной (если таких делений было несколько). Иногда ядро при амитозе делится на две неравные части: одну — большую, а другую — меньшую. По-видимому, при амитозе ДНК распределяется неравномерно между дочерними ядрами.

Амитоз наблюдается часто при патологических состояниях или при действии неблагоприятных факторов на клетку, например после действия пониженной температуры или рентгеновских



лучей, т. е. таких воздействий, которые нарушают митоз. После перешнуровки ядер в процессе амитоза в большинстве случаев цитоплазма не делится, а само наличие перешнуровки ядра, как правило, указывает на необратимые изменения в клетке, которые рано или поздно приведут ее к гибели.

Митоз — это первичный способ деления клетки, наиболее распространенный и физиологически полноценный. Амитоз следует рассматривать как его видоизменение, т. е. явление вторичное. Амитоз встречается относительно редко и является неполноценным способом деления ядра и клетки.

? 1. Что такое диплоидный набор хромосом? 2. В чем различие амитоза и митоза?

49. Продолжительность жизни, старение и смерть клеток

Рост и развитие многоклеточных организмов связаны с увеличением массы, которое осуществляется путем деления клеток. Например, развитие крысы, начавшееся с одной клетки. На 12—13-е сутки развития эмбрион содержит 50 млн. клеток. К моменту рождения крысенок состоит уже из 6 млрд., а крыса трехмесячного возраста — примерно из 67 млрд. клеток.

У млекопитающих и многих других животных, кроме роста, связанного с увеличением количества клеток, происходит постоянное отмирание и замещение одних клеток другими путем их деления. Например, ороговевающие клетки кожного эпителия все время слущиваются и заменяются новыми. То же самое происходит и с клетками крови. Так, подсчитано, что у взрослого человека среднего веса в одну секунду отмирает около 2 млрд. красных кровяных клеток — эритроцитов и заменяется новыми, поступающими из костного мозга, где их убыль все время пополняется путем деления. Поэтому продолжительность жизни размножающихся клеток определяется длительностью интерфазы, т. е. временем, которое длится от одного деления до другого. Но различают и другой отрезок времени жизни клетки — от последнего деления до ее смерти, т. е. период, когда клетка живет и функционирует, но уже не делится. Так, нервные клетки у млекопитающих перестают размножаться к моменту рождения или вскоре после рождения, продолжительность их жизни в среднем равна продолжительности жизни организма. В других тканях функция связана с постоянным отмиранием и обновлением клеток; например, эритроциты, попадая в кровяное русло, живут и функционируют там около 120 суток, а затем отмирают. Подобное же происходит и с лейкоцитами, которые живут и функционируют всего несколько дней. К тканям, функция которых связана с обновлением клеток, относятся и различные эпителии. Приведенные примеры показывают, что митотическое деление клеток во взрослом организме связано с нормально

прото
нера
ткане
иных
ма к
ших,
С

посре
органи
синте
рая 3
клето
особо
случа
клетк
ми, н
шести
капли
вае
веде
явля
в иск
гут р
но ме
приме
50 ле
лет

Мо
клето
тозов
обяза
ткане
сти: I
или ж

?
▶

50.

Ка
жения
вое ра
Бе
жение
ний. I
други
размно

протекающим обновлением клеток, т. е. физиологической регенерацией. Деление клеток также обеспечивает восстановление тканей при регенерации после порезов, ожогов или каких-либо иных повреждений. Естественно, что во время роста организма количество размножающихся клеток больше, чем отмирающих, что и обеспечивает общее увеличение массы клеток.

Старение и смерть клеток. Старение и отмирание клеток непосредственно может быть и не связано со старением и смертью организма. В эритроцитах утрата ядра, делающая невозможным синтез белка, предопределяет неизбежную гибель клетки, которая зависит от старения собственных белков. При ороговении клеток кожного эпителия в цитоплазме происходит накопление особого белка, который и приводит клетки к гибели. Во всех случаях начало старения связано с прекращением деления и накоплением в цитоплазме специфических белков, что и приводит клетки к смерти. Иначе обстоит дело с долго живущими клетками, например нервными. При старении нарушается обмен веществ, в цитоплазме накапливаются пигментные зерна, иногда капли жира. В этих случаях отмирание массы клеток оказывается связанным со старением и смертью организма. Из приведенных примеров можно видеть, что признаки старения являются, как правило, в цитоплазме. При помещении клеток в искусственную питательную среду (культура тканей) они могут размножаться бесконечно. Для этого необходимо постоянно менять питательную среду и удалять избыток клеток. Например, культура из тканей цыпленка существовала около 50 лет. Ряд других тканевых культур поддерживается десятки лет.

Можно думать, что ядро не имеет отношения к старению клеток. Однако это не так. Возникающие после аномальных митозов клетки могут содержать неполный набор хромосом, что обязательно приведет клетку как в организме, так и в культуре тканей к гибели. Следовательно, признаки старения может нести: 1) ядро и его генетический аппарат, 2) вся клетка в целом или же 3) только цитоплазма.

- ? 1. Приведите примеры тканей человека, в которых периодически происходит обновление клеток. 2. В каких тканях клетки не делятся?
➤ 3. Какие изменения происходят при старении клеток?

50. Формы размножения организмов

Как указывалось выше, различают несколько форм размножения организмов, из которых рассмотрим основные: 1) половое размножение, 2) бесполое и 3) вегетативное размножение.

Бесполое и вегетативное размножение. Бесполое размножение широко распространено в природе у животных и растений. Например, деление инфузорий такое же, как и деление других одноклеточных организмов. Среди растений бесполое размножение свойственно споровым: водорослям, грибам, мхам

и паноротики. Во всех случаях бесполого размножения растения оно осуществляется за счет спор. Следовательно, бесполом размножением называют размножение при помощи одной клетки, которая не несет признаков, характерных для половых клеток. При вегетативном размножении от материнского организма отделяется группа соматических клеток, из которых и развивается дочерний организм. Типичным примером может служить размножение пресноводной гидры. На теле ее сбоку появляется небольшое утолщение, которое далее превращается в вырост (почку). Этот вырост состоит из клеток эпидермы и эктодермы. Постепенно вырост удлиняется, на переднем конце образуется рот, вокруг которого появляются щупальца. Весь процесс заканчивается образованием маленькой дочерней гидры.

Особенно широко распространено вегетативное размножение у растений. Так, отдельные ветви ивы, укореняясь, развиваются в новое растение. Размножение черенками широко распространено и используется при размножении ряда растений. Другим примером может служить вегетативное размножение земляники. Надземные части стебля, разрастаясь и сильно вытягиваясь, образуют так называемые усы. Попадая в почву, концы усев укореняются, и из них образуется новое растение.

Половое размножение. В отличие от вегетативного размножения как у растений, так и у животных половое размножение происходит всегда за счет специализированных половых клеток — яйцеклеток и сперматозоидов, образующихся в половых железах. Половые клетки содержат гаплоидное (половинное) число хромосом, а значит, и половинное количество ДНК. В таком гаплоидном наборе из каждой пары хромосом, имевшихся в соматических клетках, присутствует только одна хромосома. Яйцеклетки различных животных обычно крупные, неподвижные. Размеры их сильно варьируют. Например, среди млекопитающих у кролика диаметр яйцеклетки 0,2 мм. Размер яйцеклетки определяется содержанием в цитоплазме запасного питательного вещества — желтка. В крупных яйцеклетках содержится большое количество желтка, чему ярким примером может служить огромная яйцеклетка птицы (рис. 90). Яйцеклетка птицы — это та часть яйца, которую в общежитии обычно называют желтком (диаметр его около 3 см). На одной стороне желтка расположено белое пятнышко, представляющее активную цитоплазму с ядром. Именно из этого небольшого участка и развивается зародыш, а вся остальная масса содержит запасные питательные вещества, обеспечивающие развитие цыпленка в яйце. Такая яйцеклетка окружена оболочками — белком и скорлупой, являющимися дополнительными образованиями. Эти оболочки обеспечивают развитие зародыша в воздушной среде. Более мелкие яйцеклетки у рыб и амфибий. Это икринки диаметром в несколько миллиметров. Они содержат в цитоплазме довольно много желтка, но значительно меньше, чем у птиц. Мелкие яйцеклетки содержат очень мало желтка, и он равномерно распределен по всей яйцеклетке. Собственная оболочка яйцеклетки,



рис.

Яйце

клетка

птицы

в

клетке

обра
обол
кова
в це
тель

С
лини
мле
гозо
м не
пони
кает
сдер
клаз
жгут
нию

Р
ся с
клет
тека
нача
деля
врем
зоной
клет
резко
овог
выра
ток

В
исход
сперм
вступ



Рис. 90.

Яйцо курицы:

1 — зародышевый диск; 2 — желточная оболочка; 3 — желток; 4 — белок; 5 — скорлупа; 6 — градинки, удерживающие яйцеклетку в центре я...



Строение
сперматозоида
млекопитающих:

1 — головка;
2 — ядро,
3 — центриоль,
4 — шейка,
5 — хвостик

образуемая поверхностью цитоплазмы, называется желточной оболочкой. Кроме нее, возникает более или менее развитая белковая оболочка, которая образуется клетками яйцеводов. Либо в центре яйцеклетки, либо у края располагается одно относительно крупное ядро.

Сперматозоид всегда во много раз меньше яйцеклетки. Типичную для многих животных форму имеют сперматозоиды млекопитающих (рис. 91), которые состоят из трех отделов: головки, шейки и хвостика. В головке располагается ядро, кроме него, на переднем конце содержится небольшой участок уплотненной цитоплазмы, при помощи которого сперматозоид проникает в яйцеклетку. Шейка — суженная часть позади головки — содержит центриоль и переходит в тонкую удлиненную цитоплазматическую нить — хвостик. Хвостик сходен со жгутиком жгутиконосца или ресничкой инфузории. Благодаря его движению сперматозоиды активно передвигаются.

Развитие половых клеток. Как семенник, в котором образуются сперматозоиды, так и яичник, в котором формируются яйцеклетки, можно представить в виде трубки, внутри которой и протекает весь процесс образования половых клеток. В самом начале трубки находятся первичные половые клетки, которые делятся обычным митозом, благодаря чему количество их все время возрастает. Этот участок половой железы и называется зоной размножения (рис. 92). Переходя в следующую зону, клетки начинают расти, образуя зону роста. Процесс роста более резко выражен во время образования женских половых клеток — *овогенеза* («овум» — яйцо, «генезис» — развитие, лат.). Менее выражен период роста при образовании мужских половых клеток — *сперматогенезе*.

Во время роста, кроме увеличения массы цитоплазмы, происходит также увеличение размеров ядра. Выросшие клетки (при сперматогенезе) называются сперматоцитами 1-го порядка, они вступают в период созревания и переходят в зону созревания.

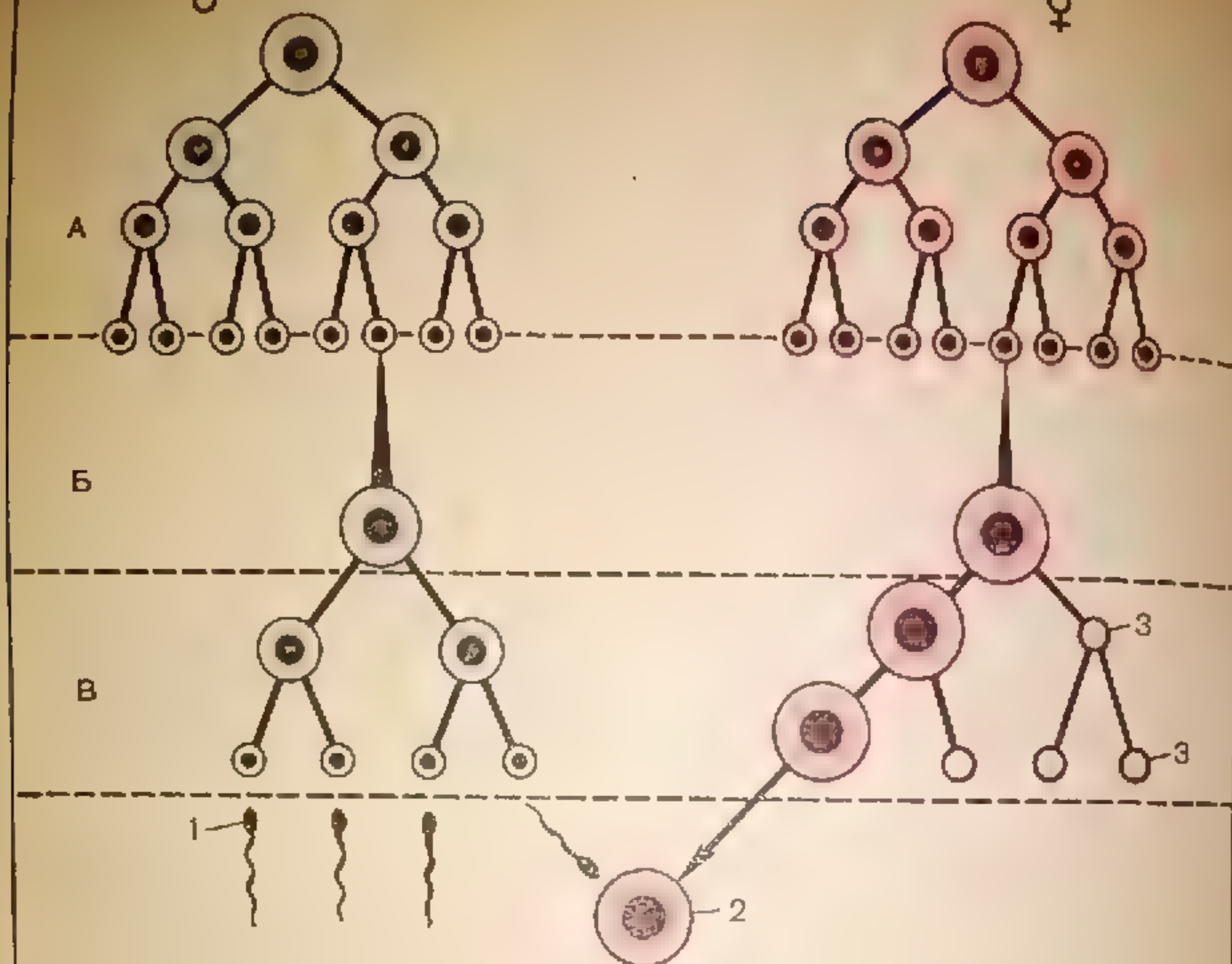


Схема сперматогенеза и овогенеза:

А — зона размножения; Б — зона роста; В — зона созревания.
1 — сперматозоид; 2 — яйцеклетка; 3 — направительные тельца.

Во время этого процесса сперматоциты делятся два раза, т. е. из одного сперматоцита образуется четыре клетки. Каждая из них далее превращается в сперматозоид.

При овогенезе период роста обычно длится дольше, чем при сперматогенезе, перешедшая в зону роста клетка называется овоцитом 1-го порядка. За время роста она увеличивается в сотни, а иногда и тысячи раз за счет накопления запасных питательных веществ. Например, из овоцита диаметром 20—30 мкм в результате роста образуется яйцеклетка лягушки диаметром 3—4 мм.

Выросшие овоциты приступают к созреванию, которое состоит из двух делений (так же как при сперматогенезе), но внешне эти деления протекают иначе. При делении овоцит 1-го порядка отделяет маленькую клетку (направительное тельце), и остается крупная клетка. Затем проходит второе деление, при котором выделяется следующее направительное тельце и образуется крупная, уже зрелая яйцеклетка. Пока происходит второе деление,

перво-
овоц-
ная
мя р-
С

клет-
пост-
кото-
вае-
когда
Созр-
идно-
ство-
соот-
и по-

Ко-
Кро-

У
созре-
ит н-
из о-
них
обра-
ца, т-
исхо-
парь-
толь-
яйце-
деле-
ветс-
кае-
проф-
мым-
дате-
лое

В
кото-
шнес-
Конь-
конц-
чатле-
Важ-

первое направительное тельце успевает разделиться, и всего из овоцита образуются четыре клетки: три мелкие и одна крупная — яйцеклетка, которая сохраняет весь накопленный во время роста желток, необходимый для развития зародыша.

Созревание половых клеток (мейоз). Число хромосом для клеток каждого вида растений или животных постоянно. Это постоянство во всех клетках поддерживается благодаря митозу, которому предшествует удвоение хромосом. Как же поддерживается постоянство числа хромосом при половом размножении, когда новый организм возникает из слияния двух половых клеток? Созревшие половые клетки содержат только половинное (гаплоидное) число хромосом, а соответственно и половинное количество ДНК. В таблице приведено два примера, иллюстрирующих соотношение числа хромосом и количества ДНК в соматических и половых клетках кошки и кролика.

Вид животного	Количество хромосом		Количество ДНК. 10^{-12} г	
	в соматических клетках (диплоидное)	в половых клетках (гаплоидное)	в диплоидном ядре соматических клеток	в гаплоидном ядре половых клеток
Кошка	38	19	6,4—6,8	3,6
Кролик	44	22	6,75	3,2

Уменьшение числа хромосом вдвое происходит в процессе созревания половых клеток. Внешне процесс созревания состоит из двух последующих делений первого и второго. При этом из одного сперматоцита образуются четыре клетки и каждая из них превращается далее в сперматозоид. В овогенезе из овоцита образуется только одна яйцеклетка и три направительных тельца, т. е. тоже четыре клетки. Уменьшение числа хромосом происходит в процессе мейоза и определяется тем, что из каждой пары гомологичных хромосом остается в зрелой половой клетке только одна. Подготовка к мейозу, особенно при образовании яйцеклеток, начинается задолго до того, как наступит первое деление созревания. Начинается мейоз с синтеза ДНК и соответствующего удвоения количества хромосом, которое протекает так же, как и при митозе (рис. 93, 1). Далее хромосомы в профазе мейоза укорачиваются, становятся хорошо различимыми, каждая из них оказывается удвоенной, но они не расходятся, оставаясь соединенными, и ведут себя как единое целое (2).

Вслед за удвоением хромосом происходит их конъюгация, которая состоит в том, что парные гомологичные и уже удвоившиеся хромосомы тесно сближаются и временно соединяются. Конъюгация происходит по всей длине хромосом — от одного ее конца до другого. При этом они скручиваются, и создается впечатление, что количество хромосом уменьшилось вдвое (3). Важно подчеркнуть, что временное объединение в пары (конъю-

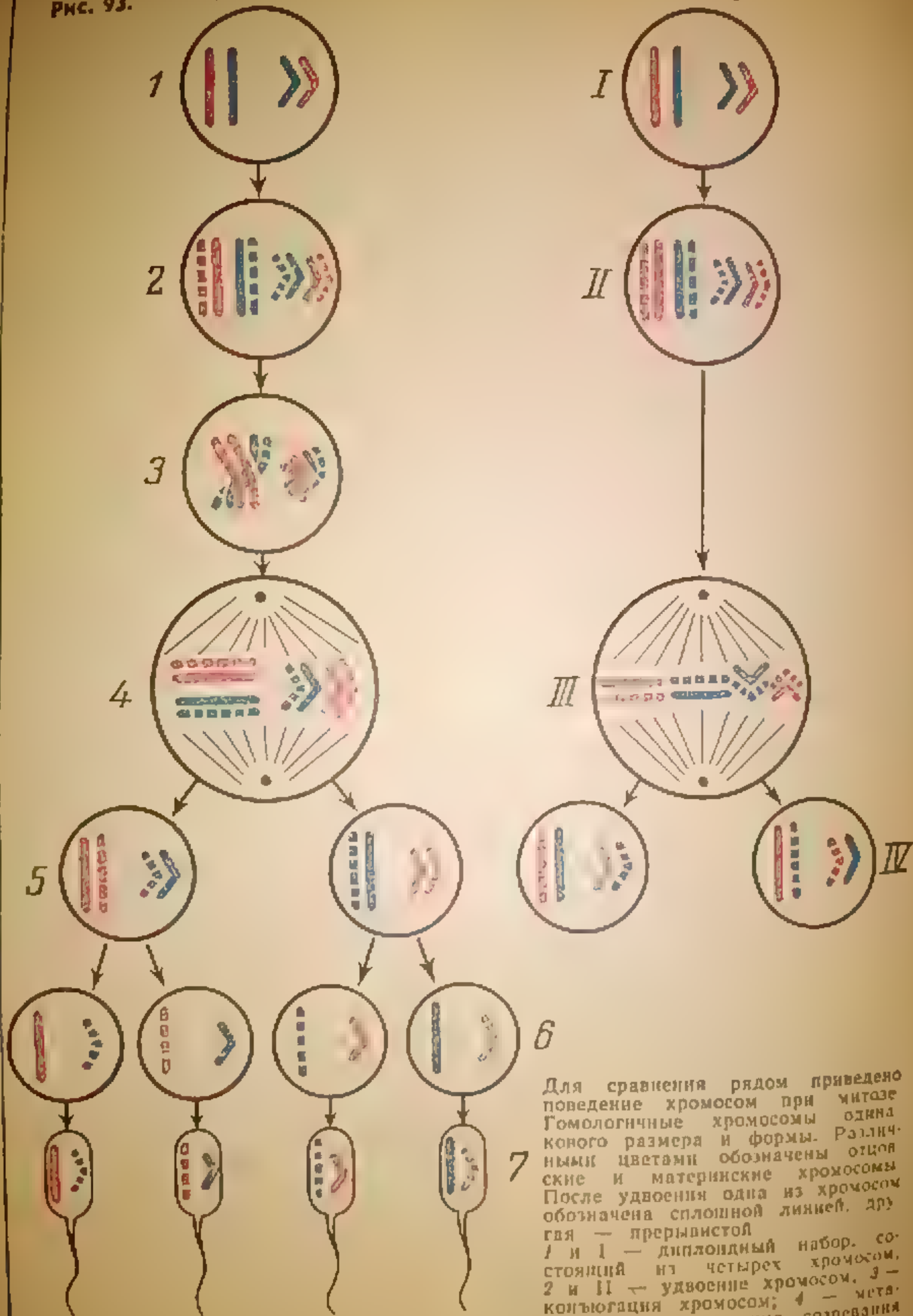


Схема поведения хромосом в процессе мейоза (созревания половых клеток).

Для сравнения рядом приведено поведение хромосом при митозе. Гомологичные хромосомы одинакового размера и формы. Различными цветами обозначены отцовские и материнские хромосомы. После удвоения одна из хромосом обозначена сплошной линией, другая — прерывистой. I и I' — диплоидный набор, состоящий из четырех хромосом. II и II' — удвоение хромосом. III — конъюгация хромосом; IV — метафаза первого деления созревания сперматоцита. IIII — метафаза митоза. V — два сперматоцита 2-го порядка. VI — четыре образующихся сперматиды; VII — сперматозоиды с различными возможными наборами хромосом; IV' — дочерние клетки после митоза.

гаци
ми (с
ходя
расх
и вз
чений
приз
ступ
с м
инач
поло
хром
мосс
что
вели
кого
ясно
люб
Е
пер
сом
а в
доче
хром
толь
ния
шае
ит н
обме
мы
ми
дой
?
51.
В
сом.
встр
лива
прон
тозо
венн

гация) хромосом происходит всегда только между гомологичными (парными) хромосомами. После конъюгации хромосомы расходятся, но местами они соединяются настолько плотно, что при расхождении происходят разрывы в поперечном направлении и взаимный обмен участками. Этот процесс имеет огромное значение для понимания некоторых закономерностей наследования признаков, что будет подробно рассмотрено в главе IX.

После окончания конъюгации хромосомы расходятся и наступает метафаза первого деления созревания, внешне сходная с метафазой митоза, но расхождение хромосом происходит иначе, чем при митозе (4). Во время анафазы мейоза к противоположным полюсам расходятся гомологичные, уже удвоившиеся хромосомы. Таким образом, из каждой пары гомологичных хромосом в дочернюю клетку попадает только одна (5). Если учесть, что каждая пара гомологичных хромосом (на схеме одинаковой величины) состоит из одной отцовской, а другой материнской, которые обозначены на схеме различными цветами, то станет ясно, что после деления в сперматоцит попадает либо отцовская, либо материнская хромосома.

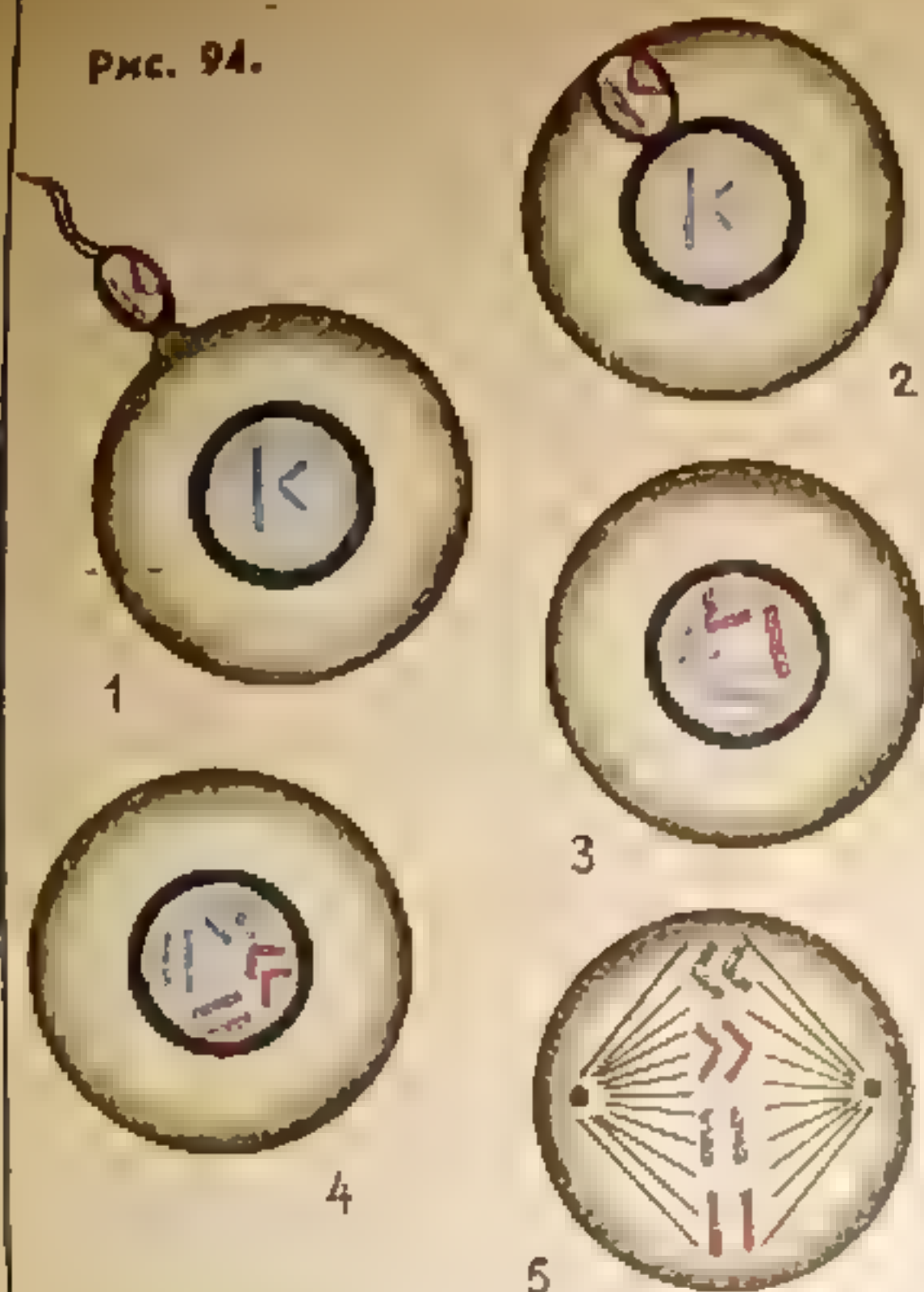
Вслед за первым наступает второе деление созревания. Теперь уже делению не предшествует синтез ДНК (6). Все хромосомы двойные, они располагаются в метафазе, как и при митозе, а в анафазе расходятся к противоположным полюсам, и в обеих дочерних клетках (сперматидях) оказывается одинаковый набор хромосом. Следовательно, перед началом мейоза происходит только одно удвоение хромосом, за которым следует два деления созревания, в результате чего количество хромосом уменьшается вдвое. Однако главное отличие мейоза от митоза состоит не только в этом. Удвоившиеся хромосомы конъюгируют и обмениваются отдельными участками. При митозе же хромосомы удваиваются и равномерно распределяются между дочерними клетками. При редукционном делении хромосомы из каждой гомологичной пары попадают в различные дочерние клетки.

- ?
1. Что такое бесполое размножение и чем оно отличается от полового?
 2. В чем сущность вегетативного размножения?
 3. Что такое конъюгация хромосом при мейозе и какие хромосомы конъюгируют между собой?
 4. В чем отличие редукционного деления от обычного митоза?
 5. Что такое гаплоидный набор хромосом и как он возникает в процессе мейоза?

51. Оплодотворение

В ядре сперматозоида содержится гаплоидный набор хромосом. Активно передвигаясь при помощи хвостика, сперматозоиды встречаются яйцеклетку; передним концом один из них пробуривает поверхность яйцеклетки (рис. 94). Когда головка и шейка проникнут в цитоплазму, хвостик отбрасывается, а ядро сперматозоида движется навстречу ядру яйцеклетки. После проникновения сперматозоида на поверхности яйцеклетки обра-

Рис. 94.



Последовательные стадии оплодотворения и начала деления яйцеклетки у животных:

1 — сперматозоид, содержащий две хромосомы, прикрепляется к поверхности яйцеклетки, 2 — сперматозоид проник в яйцеклетку, 3 — ядра сперматозоида и яйцеклетки сливаются, при этом восстанавливается число хромосом. Отцовские хромосомы красные, материнские — синие; 4 — удвоение хромосом; 5 — метафаза первого деления, каждая половинка удвоенной хромосомы отходит в дочернюю клетку.

зуется оболочка, препятствующая дальнейшему внедрению сперматозоидов. Далее ядро сперматозоида сливается с ядром яйцеклетки. В ряде случаев в яйцеклетку проникает не один, а много сперматозоидов, но из всего количества только ядро одного сперматозоида сливается с ядром яйцеклетки, а остальные погибают. В объединении ядер и состоит сущность оплодотворения; образовавшаяся зигота содержит уже диплоидный набор хромосом. В таком диплоидном наборе сохраняется индивидуальность хромосом, и каждая пара состоит из одной отцовской и другой материнской.

Следовательно, восстанавливается диплоидный набор хромосом и исходное количество ДНК, характерное для соматических клеток.

После объединения ядер сначала происходит удвоение хромосом, а затем и деление. Яйцеклетки делятся обычным митозом, так что обе дочерние клетки получают равное количество отцовских и материнских хромосом.

Двойное оплодотворение цветковых растений. У растений процесс образования половых клеток и оплодотворения в принципе протекает сходно с животными. Однако обнаруживается и ряд своеобразных черт, связанных с особенностями строения растений.

Изучая оплодотворение у покрытосеменных растений, С. Г. Навашин открыл так называемое двойное оплодотворение. Чтобы понять сущность этого явления, следует прежде всего рассмотреть строение семени покрытосеменных. Семяпочка, покрытая оболочками, состоит из двух частей (рис. 95): самого зародыша, из которого развивается растение, и эндосперма, в котором накапливаются запасные питательные вещества: углеводы, белки, жиры. Эндосперм функционирует во время прорастания, обеспечивая питание зародыша.

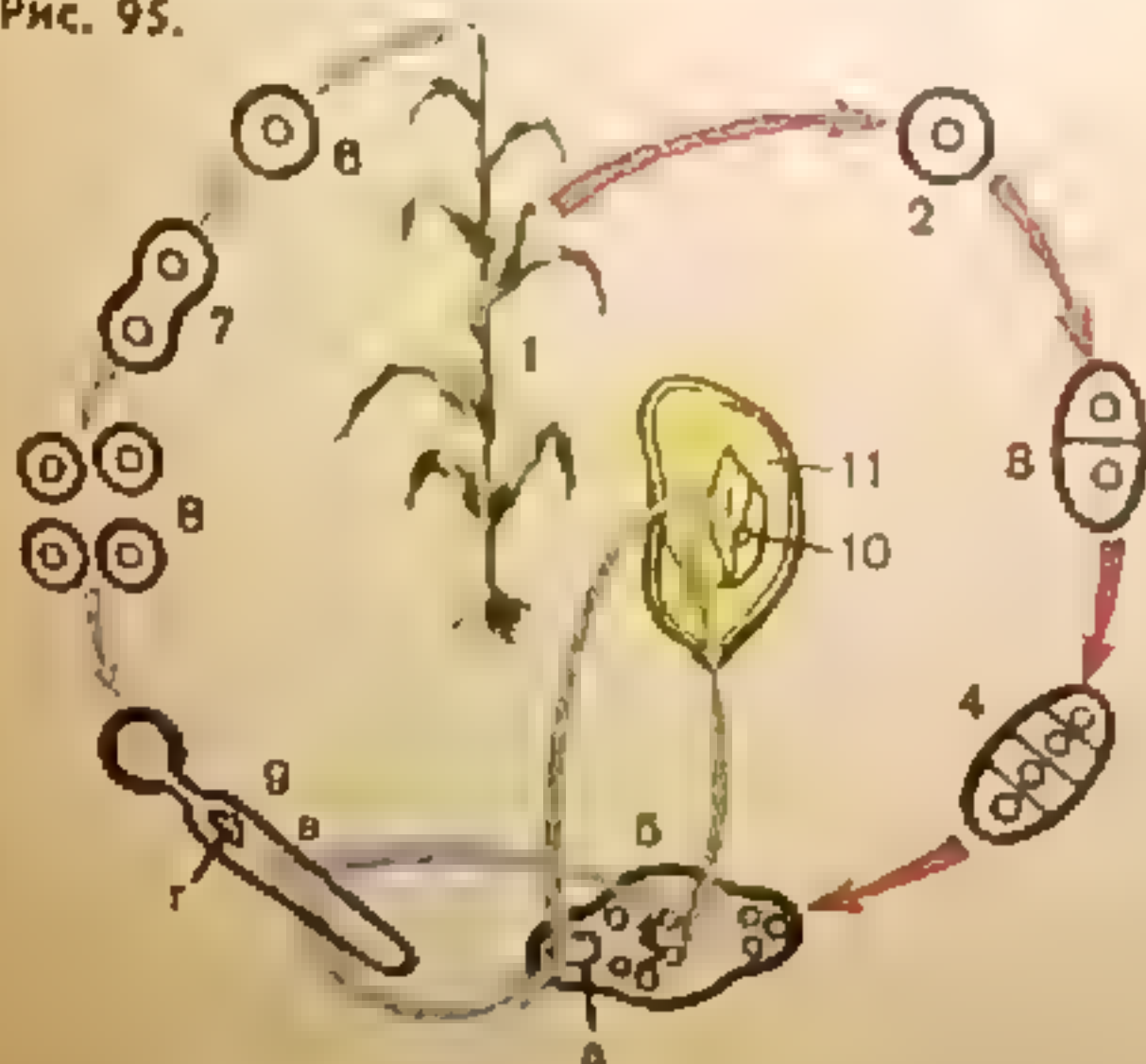
Образование пыльцевых зерен протекает в пыльниках. Материнские клетки пыльцы проходят мейоз, состоящий из двух

делений созревания, в результате чего образуются четыре гаплоидные клетки. На поверхности каждой клетки возникает оболочка, и клетка превращается в пыльцевое зерно. Затем гаплоидное ядро пыльца делится митотически, и образуются два ядра, одно из них вегетативное (рис. 95, 9г), другое оказывается генеративным. Затем генеративное ядро делится еще раз, образуя два спермия (рис. 95, 9в). Следовательно, зрелое пыльцевое зерно, покрытое общей оболочкой, состоит из трех клеток и включает три ядра: 1) одно крупное ядро и почти вся цитоплазма образуют вегетативную клетку, 2) два ядра с узким ободком цитоплазмы превращаются в спермии. Такое сложно организованное пыльцевое зерно оказывается уже созревшим и способным к оплодотворению. Пыльцевое зерно, попав на рыльце пестика, разрастается, образуя пыльцевую трубку, в которой находятся ядра (рис. 95, 9).

При образовании яйцеклетки протекают более сложные процессы, чем при образовании пыльцевого зерна. В семязпочке исходная материнская клетка проходит мейоз, также состоящий из двух делений созревания, и образует группу из четырех гаплоидных клеток (рис. 95, 4). До этой стадии все идет сходно с созреванием пыльца, но далее начинаются существенные различия, связанные с образованием зародышевого мешка. Обычно из четырех клеток три отмирают, а одна оставшаяся делится митотически три раза, образуя группу из восьми клеток (рис. 95, 5). Пять из них составляют стенку зародышевого мешка, а три остальные находятся в его полости. Одна из этих трех клеток является яйцеклеткой, а ядра других двух клеток, так называемые полярные ядра, располагаются в центре, затем сливаются в одно и образуют диплоидное ядро.

Оплодотворению предшествует разрастание пыльцевой трубки, по которой передвигаются два спермия. Достигнув зародышевого мешка, спермии проникают в него, и один спермий оплодотворяет яйцеклетку, благодаря чему она становится диплоид-

Рис. 95.



Двойное оплодотворение у покрытосеменных растений

1 — початок кукурузы с семязпочками; 2 — материнская клетка зародышевого мешка; 3-4 — образование четырех гаплоидных клеток в результате мейоза; 5 — зародышевый мешок; 5а — яйцеклетка, которая после оплодотворения образует зародыш; 5б — две сливающиеся клетки, в результате оплодотворения которых образуется триплоидный эндосперм; 6 — материнская клетка пыльника; 7-8 — образование четырех гаплоидных пыльцевых зерен в результате мейоза; 9 — пыльцевая трубка; 9а — два сперматозоида; 9б — вегетативное ядро; 10 — зародыш; 11 — эндосперм

ной. Другой спермий сливается с ядром центральной, уже диплоидной клетки, после чего она становится триплоидной (содержит три гаплоидных набора хромосом). Из яйцеклетки после оплодотворения развивается зародыш, а из триплоидного ядра образуется эндосперм. Следовательно, особенности оплодотворения и развития семени у покрытосеменных растений состоят в том, что гаплоидная клетка после созревания делится несколько раз, образуя зародышевый мешок — вспомогательное образование, защищающее яйцеклетку.

Сущность двойного оплодотворения состоит в том, что один сперматозоид сливается с яйцеклеткой, а другой — с центральным, уже диплоидным ядром, из которого формируется эндосперм. Функция последнего — питание зародыша.

Партеногенез. Анализируя сущность оплодотворения, следует различать две стороны этого процесса: 1) внесение сперматозоидом отцовских хромосом — ДНК, 2) стимулирующее влияние, вызывающее начало развития яйцеклетки.

У некоторых червей, членистоногих яйцеклетки могут нормально развиваться без оплодотворения. Это явление получило название *естественного партеногенеза*. Например, у пчел оплодотворяется только часть яйцеклеток, из которых развиваются рабочие пчелы и матка, их клетки содержат диплоидный набор хромосом. Неоплодотворенные яйцеклетки также начинают развиваться, но уже партеногенетически, и из них получаются только трутни (самцы), клетки которых содержат гаплоидный набор хромосом. При овогенезе у матки происходит мейоз и образуется яйцеклетка с гаплоидным числом хромосом, а при сперматогенезе у трутня происходит только одно деление созревания и число хромосом в сперматозоиде не уменьшается, оставаясь таким же гаплоидным. У некоторых рачков (дафнии) и тлей в течение большей части года размножение протекает только партеногенетически и из яйцеклеток развиваются только самки, обладающие диплоидным набором хромосом. В этом случае обычно наблюдается одно деление созревания. Один раз в году (часто осенью) образуются самцы и самки и происходит оплодотворение. Из оплодотворенных яиц опять образуются самки, размножающиеся далее партеногенетически. В этих случаях партеногенез носит сезонный характер и в значительной степени зависит от внешних условий. Следовательно, естественный партеногенез может быть диплоидным и гаплоидным.

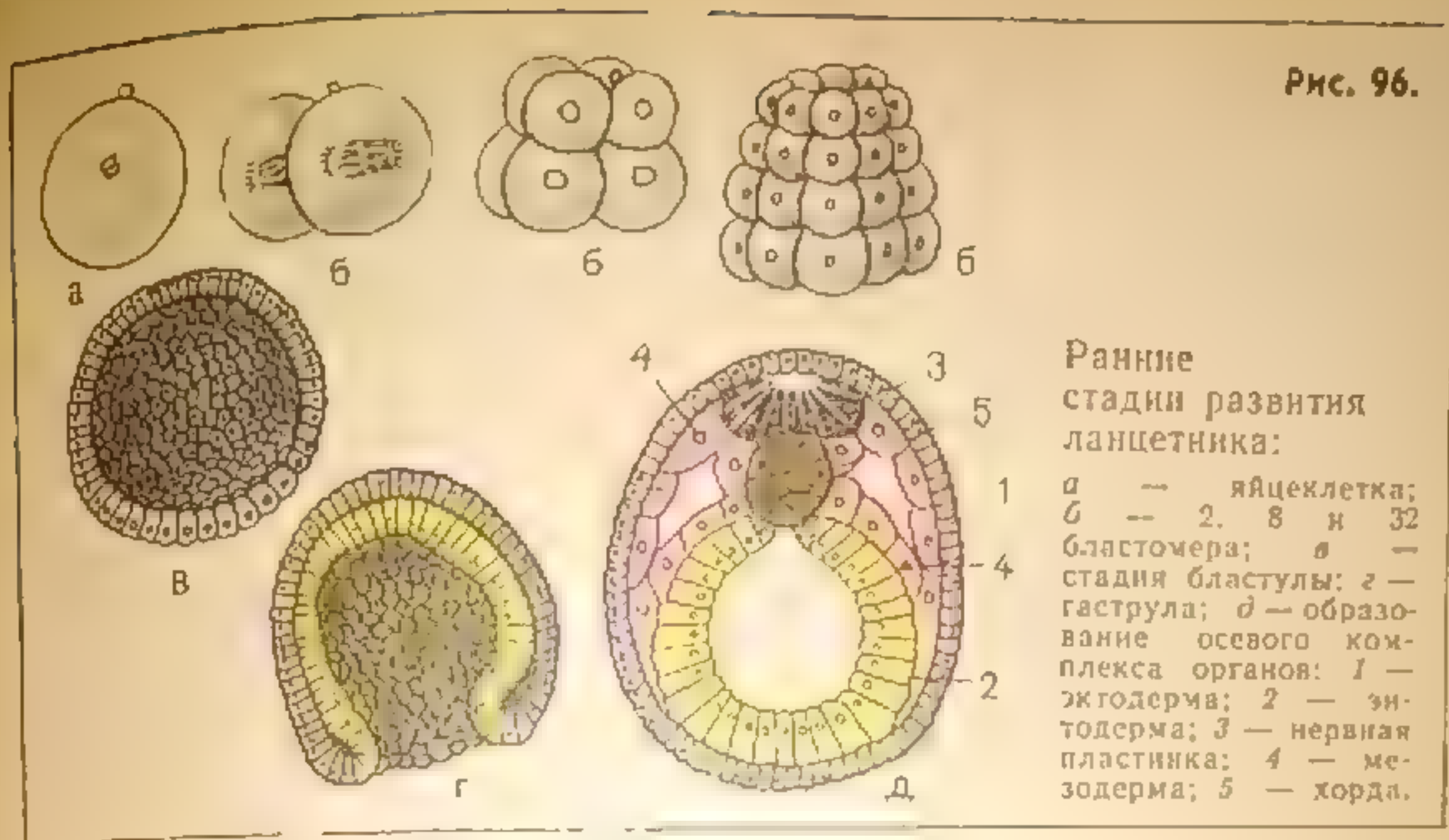
В отличие от естественного партеногенеза у многих животных, для нормального развития которых необходимо оплодотворение, яйцеклетку удается заставить развиваться без оплодотворения, внешними воздействиями. Это явление называют искусственным партеногенезом. Кратковременное повышение температуры, действие определенных химических веществ соответствующих концентраций стимулируют развитие яйцеклетки. Даже яйцеклетки млекопитающих при содержании их в питательной среде при 37°C удается искусственно заставить начать развиваться без оплодотворения.



?

52.

По
ное р
форми
слагае
быть
ление
Яйцек
величи
ствени
бласто
костин
снова
тыре
уже в
Далее
образ
друг
ется п
ток н
и наз
бласто
лее у
разу
Деле
дующ
торой



- ? 1. Какова роль ядра спермия в процессе оплодотворения? 2. В чем сущность двойного оплодотворения цветковых растений? 3. Какова разница между естественным и искусственным партеногнезом?

52. Развитие оплодотворенного яйца

После оплодотворения яйцеклетки начинается индивидуальное развитие организма — онтогенез, который и завершается формированием целостного особи. Все индивидуальное развитие складывается из ряда различных процессов и соответственно может быть разделено на несколько периодов. Первый из них — дробление, который мы сначала рассмотрим на примере ланцетника. Яйцеклетка делится на две клетки, или два бластомера, равной величины. В яйцеклетке можно различить два полюса и соответственно определить плоскости, в которых происходит деление бластомеров. Первое деление цитоплазмы происходит в плоскости меридиана. Затем каждый из бластомеров одновременно снова делится также в плоскости меридиана и образуются четыре клетки равной величины. Следующее деление происходит уже в плоскости экватора — образуется восемь клеток (рис 96). Далее деления меридиональные и экваториальные чередуются, образуется 16, 32, 64 бластомера и т. д. — плотно прилегающих друг к другу клеток. Увеличение количества клеток осуществляется путем митоза, но в отличие от обычных соматических клеток интерфаза очень коротка и бластомеры не растут, поэтому и называется весь этот процесс дроблением. Уже на стадии 64 бластомеров внутри образуется небольшая полость, которая далее увеличивается, бластомеры располагаются в один слой, образуя бластулу, на которой и заканчивается период дробления. Деление клеток продолжается и на стадии бластулы, и на последующих стадиях, но оно уже не носит той упорядоченности, которой характеризуется процесс дробления.



Рис. 97.

Начальная стадия дробления
яйцеклеток:

1 — лягушки; 2 — птицы. Видны последовательные стадии дробления 2, 4 и 8-го бластомеров. Яйцеклетка лягушки дробится на бластомеры различной величины. В яйцеклетке птиц дробится только поверхностный участок активной цитоплазмы, в котором расположено ядро.



Рис. 98.

Развитие тритона:

п — стадия бластулы, б — гастрюла;
а — поперечный разрез зародыша в
момент формирования осевого хом-
плекса органов; 1 — эктодерма, 2 —
энтодерма, 3 — нервная пластинка
4 — мезодерма, 5 — хорда

После того как завершится образование бластулы, начинается следующий период развития, связанный с образованием второго слоя клеток. Наиболее ясно этот процесс наблюдается в том случае, когда образование второго слоя происходит путем впячивания стенки бластулы. Сначала заметно небольшое впячивание, затем оно углубляется и образуется второй слой клеток, лежащий внутри зародыша, который таким образом становится двуслойным. Эта стадия развития называется гастролой, а процесс образования второго слоя — гастрულიей. В гастроле уже можно различить два зародышевых листка: наружный — эктодерму и внутренний — энтодерму. Так происходит дробление и гастрულიя у ланцетника и других животных, яйцеклетка которых содержит небольшое количество желтка.

У птиц и других животных (например, рыб), яйцеклетка которых содержит много желтка, дробится только диск цитоплазмы, лежащий на поверхности желтка (рис. 97). Яйцеклетка амфибий содержит довольно много желтка и по типу дробления отличается от ланцетника. При дроблении образуются мелкие и крупные бластомеры. Полость в бластуле располагается ближе к одному из полюсов, а крупные клетки противоположного полюса, содержащие много желтка, располагаются в несколько слоев.

Большое количество желтка в яйцеклетке тормозит деление, и поэтому различают полное дробление (ланцетник) и неполное (птицы). Полное дробление может быть равномерным, когда все бластомеры оказываются более или менее равной величины, и неравномерным, когда образуются бластомеры разной величины.

Несмотря на различный характер дробления, форму бластулы, гастрюляция, приводящая к образованию энтодермы, носит довольно сходный характер.

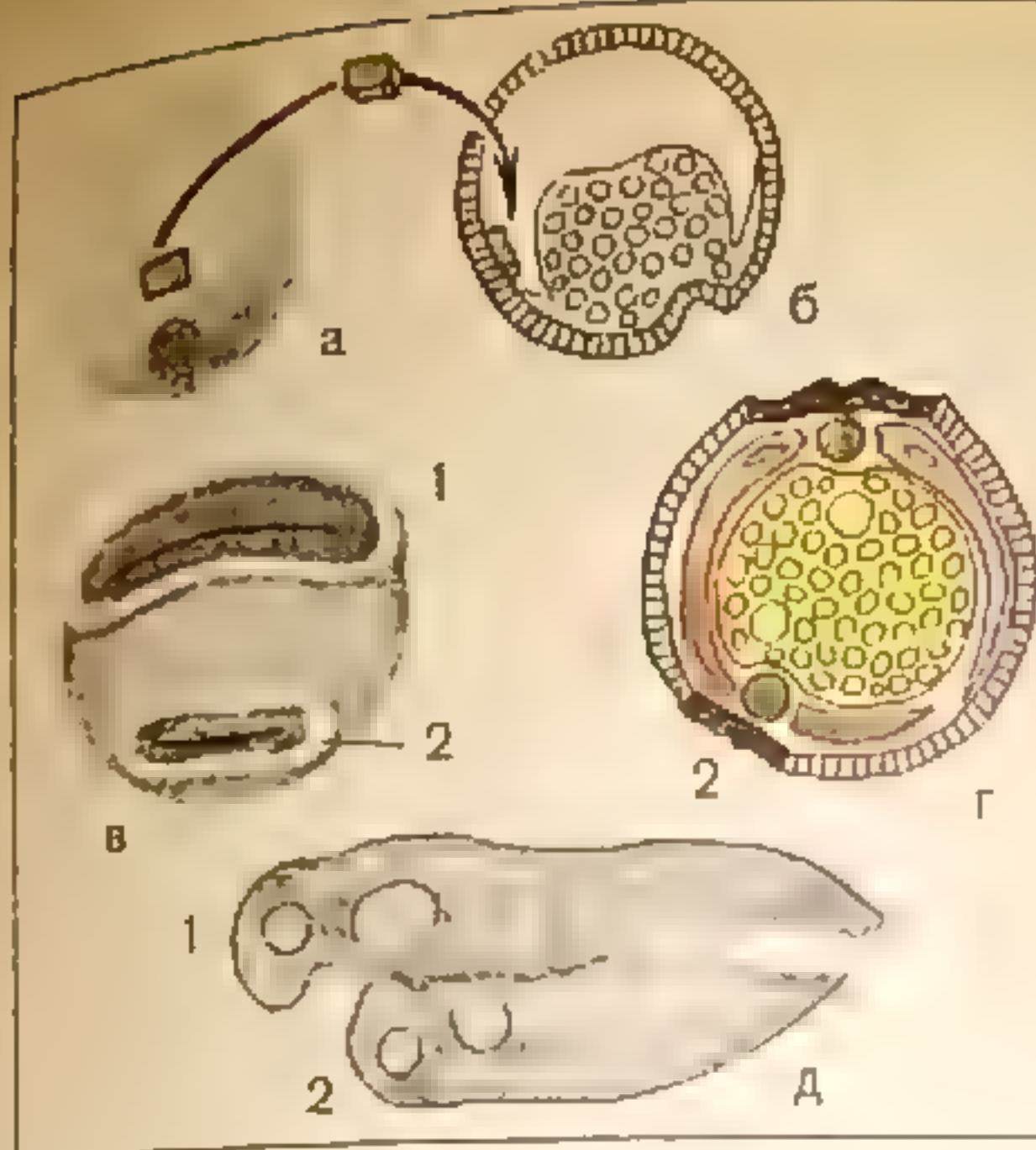
В дальнейшем между эктодермой и энтодермой образуется третий слой клеток — мезодерма. Эти слои называются зародышевыми листками. Они сходны у всех позвоночных. В дальнейшем из эктодермы развивается кожный (покровный) эпителий,

вся нер-
кишечн-
дермы
ния ске-
довате.
ражает
биоген-

Oco

На буд
ное в
трубки
ток сп
мозг. К
образу
а по б
зодерм
органов
рию от

Точ
перво
что в
И дейс
жение
щей к
тально
для не
еще об
на бок
ного уч
рая не
В п
выделя
ют в не



Пересадка участка хордомезодермального зачатка в начале гастрюляции:

а — гастрюла, от которой берут кусочек хордомезодермы; б — ранняя гастрюла, в которую пересаживают взятую часть зачатка; в — внешний вид основного (1) и индуцированного (2) зародыша; г — поперечный разрез через осевой комплекс основного (1) и дополнительного (2) зародыша; д — внешний вид двух развившихся зародышей: 1 — основной; 2 — дополнительный

вся нервная система и органы чувств, из энтодермы — эпителий кишечника, пищеварительные железы, легкие. А клетки мезодермы — третьего зародышевого листка — служат для образования скелета, мышц, кровеносной и выделительной систем. Последовательность развития, формирование зародышевых листков отражает историческое развитие, что нашло свое выражение в биогенетическом законе (стр. 61).

Особенный интерес представляет развитие нервной трубки. На будущей спинной стороне зародыша начинается желобовидное впячивание эктодермы, которое завершается образованием трубки. Эта трубка погружается под эктодерму и образует зачаток спинного мозга, а из ее переднего конца развивается головной мозг. Из середины энтодермы выделяется тяж клеток, который образует хорду. Хорда располагается точно под нервной трубкой, а по бокам от нее — правый и левый зачатки туловищной мезодермы. Все вместе эти зачатки образуют осевой комплекс органов, определяя спинную сторону и двустороннюю симметрию организма (рис. 98).

Точное совпадение местоположения и времени образования нервной трубки, хорды и мезодермы позволило предположить, что в этом случае одни зачатки влияют на развитие других. И действительно, оказалось, что начало развития и местоположение нервной трубки определяются зачатком хорды и прилегающей к ней мезодермы. Этот факт удалось доказать экспериментально, путем пересадки участков хордомезодермы в необычное для нее место. Для этого в начале гастрюляции вырезали часть еще общего зачатка хордомезодермы (рис. 99) и пересаживали на боковую сторону ранней гастрюлы. Под влиянием пересаженного участка в необычном месте из эктодермы развивалась вторая нервная трубка и даже целый второй зародыш.

В период гастрюляции клетки хордомезодермального зачатка выделяют вещества, которые, действуя на эктодерму, вызывают в ней развитие нервной трубки.

Влияние одного эмбрионального зачатка на другой, обеспечивающее его развитие, называют *индукцией*. В описываемом случае хордомезодерма индуцирует образование из эктодермы нервной трубки, определяя тем самым ее размеры и местоположение. Поскольку далее нервная система обеспечивает целостность организма, определяет нормальное развитие отдельных органов, в описываемом случае можно видеть взаимодействие развивающихся частей зародыша. Сходные явления индукцирующего действия наблюдаются и при развитии других органов, например глаза.

Постэмбриональное развитие. С переходом организмов к самостоятельному существованию заканчивается эмбриональный период и начинается постэмбриональный. Развившийся организм, уже способный к самостоятельному существованию, разрывает яйцевые оболочки и выходит наружу. Этим и заканчивается эмбриональный период развития и начинается постэмбриональный.

Различают два вида постэмбрионального развития: 1) прямое, когда рождающийся организм сходен со взрослым, и 2) не прямое, когда эмбриональное развитие приводит к образованию личинки. Примером прямого развития служит развитие птиц и млекопитающих. Из яйца выходит птенец, уже способный самостоятельно питаться и своей организацией соответствующий взрослому организму. В постэмбриональном периоде он растет, у него появляются признаки пола и т. д.

У амфибий, например у лягушки, разрывая яйцевые оболочки, выходит наружу головастик — личинка, сильно отличающаяся от лягушки. Метаморфоз головастика состоит в том, что сначала исчезают наружные жабры, затем развиваются конечности, а потом уже постепенно исчезает хвост. Метаморфоз амфибий определяется главным образом развитием и выделением секрета (гормона) щитовидной железы.

Другим общеизвестным примером метаморфоза служит развитие насекомых (постэмбриональное развитие).

Развитие с метаморфозом имеет большое биологическое значение. В ряде случаев личинка представляет собой стадию развития, специально приспособленную для активного питания и роста, что наблюдается у насекомых и амфибий. Очень часто личинки и взрослые организмы приспособлены к жизни в различных условиях, благодаря чему они не конкурируют друг с другом за место и пищу. Нередко у малоподвижных или прикрепленных животных личинки, свободно передвигаясь, способствуют распространению вида. Например, у живущих в морях прикрепленных примитивных хордовых — асцидий — личинка свободно плавает в толще воды, способствуя этим распространению вида.

- ? 1. Чем отличается дробление от обычного деления клетки? 2. Как образуется гастрולה? 3. Какие органы и ткани развиваются из эктодермы, мезодермы и энтодермы? 4. Из каких зачатков складывается осевой комплекс органов? 5. Что такое развитие прямое и с метаморфозом?

ОСНОВЫ ГЕНЕТИКИ И СЕЛЕКЦИИ

- | | |
|-------------------|---|
| <i>Глава IX.</i> | ОСНОВНЫЕ
ЗАКОНОМЕРНОСТИ
ПЕРЕДАЧИ
НАСЛЕДСТВЕННЫХ
СВОЙСТВ |
| <i>Глава X.</i> | ЗАКОНОМЕРНОСТИ
ИЗМЕНЧИВОСТИ |
| <i>Глава XI.</i> | СЕЛЕКЦИЯ РАСТЕНИЙ,
ЖИВОТНЫХ
И МИКРООРГАНИЗМОВ |
| <i>Глава XII.</i> | ГЕНЕТИКА
ЧЕЛОВЕКА |

Характерная черта биологии XX в. — быстрое развитие генетики. Генетика изучает законы наследственности и изменчивости. Изменчивость и наследственность лежат в основе эволюции органического мира и деятельности человека по созданию новых сортов культурных растений и пород домашних животных, как это установил еще Ч. Дарвин. Наследственность можно определить как свойство организмов передавать свои признаки и особенности развития следующему поколению. Это свойство позволяет животным, растениям и микроорганизмам сохранять из поколения в поколение характерные черты вида, породы, сорта. Наследственность осуществляется через размножение и индивидуальное развитие. При половом размножении новые поколения возникают в результате оплодотворения. Материальные основы наследственности заключены в половых клетках. При бесполом, или вегетативном, размножении новое поколение развивается или из одноклеточных спор, или же из многоклеточных образований. И при этих формах размножения материальной связью между поколениями служат клетки.

Изменчивость выражается в различиях между особями в пределах вида.

Таким образом, изменчивость — это свойство организмов, как бы противоположное наследственности. Различия между особями одного вида могут зависеть от изменений наследственных свойств организма. Изменчивость определяется и внешними условиями. Каждому известно, что проявление свойств породы во многом зависит от условий содержания и кормления.

На рисунке 100 показан результат опыта, проведенного над одуванчиком. Взят корень одуванчика и разрезан пополам. Одна половина его высажена на равнине в условиях высокой влажности. Выросло растение с крупными листьями, длинными цветоножками. Другая половина была посажена в горах. Выросло маленькое растение с мелкими листьями, с очень

короткой цветоножкой. А между тем наследственность у них одинаковая. Формирование признаков в большой степени зависит от условий внешней среды.

Помимо большого теоретического значения, генетика имеет и важное практическое. Изменение наследственных признаков домашних животных и культурных растений и создание новых продуктивных пород и сортов базируются на законах, раскрываемых генетикой. Велико значение генетики и для медицины.



Мон
следств
размнож
гором М
долгое
были ка
пор ста
тики.

Менд
разных
выраже
мер, сор
ким сте
морщин
ностей
обычно
опылен

Менд
т. е. он
родител
емых пр

В св
шого м
одну пл
и просл
поколен
личеств
бей. Это
законом

Иссл
вания. Э
формы,
гивающ

Един
растени
лученны
коления

Усл
вой Р
Е. второе

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПЕРЕДАЧИ НАСЛЕДСТВЕННЫХ СВОЙСТВ

53. Гибридологический метод изучения наследственности

Моногибридное скрещивание. Основные закономерности наследственной передачи признаков в ряде поколений при половом размножении были впервые установлены чешским ученым Грегором Менделем и опубликованы в 1865 г. Его исследования долгое время оставались малоизвестными. Лишь в 1900 г. они были как бы переоткрыты, проверены и подтверждены и с тех пор стали основой вновь возникшей отрасли биологии — генетики.

Мендель проводил опыты на горохе. У этого растения много разных сортов, отчетливо отличающихся друг от друга хорошо выраженными наследственными признаками. Имеются, например, сорта с белыми и пурпурными цветками, с высоким и низким стеблем, с желтыми и зелеными семенами, с гладкими и морщинистыми семенами и т. п. Каждая из указанных особенностей стойко наследуется в пределах данного сорта. У гороха обычно самоопыление, хотя возможно также и перекрестное опыление.

Мендель применил гибридологический метод исследования, т. е. он скрещивал различающиеся по определенным признакам родительские формы (сорта) и прослеживал проявление изучаемых признаков в ряде поколений.

В своих опытах Мендель шел аналитическим путем: из большого многообразия признаков растений он как бы вычленил одну или несколько пар противоположных друг другу признаков и прослеживал проявление их в ряде следующих друг за другом поколений. Характерной чертой опытов Менделя был точный количественный учет проявления изучаемых признаков у всех особей. Это позволило ему установить определенные количественные закономерности в наследовании.

Исследование Менделя началось с моногибридного скрещивания. Это означает, что для скрещивания брались родительские формы, различающиеся лишь по одной паре признаков, затрагивающих какую-нибудь одну особенность.

Единообразие первого поколения гибридов. Если скрестить растения гороха с желтыми и зелеными семенами, то у всех полученных в результате этого скрещивания растений первого поколения (F_1)¹ гибридов семена будут желтыми. Противополож-

¹ Условно принято обозначать родительское поколение латинской буквой Р (parentale — родительский, лат.), первое поколение гибридов — F_1 , второе — F_2 (filiale — дочерний, лат.) и т. д.

ный признак (зеленые семена) как бы исчезает. В этом проявляется первая закономерность, установленная Менделем, которую можно назвать правилом единообразия первого поколения гибридов. В данном опыте это единообразие проявляется в том, что один признак (желтая окраска семян) подавляет проявление противоположного признака (зеленая окраска) и все семена у гибридов F_1 оказываются желтыми (единообразными).

Это явление преобладания признака получило название доминирования, а сам признак называется доминантным. В рассматриваемом примере желтая окраска семян доминирует над зеленой. Противоположный, внешне исчезающий признак называется рецессивным.

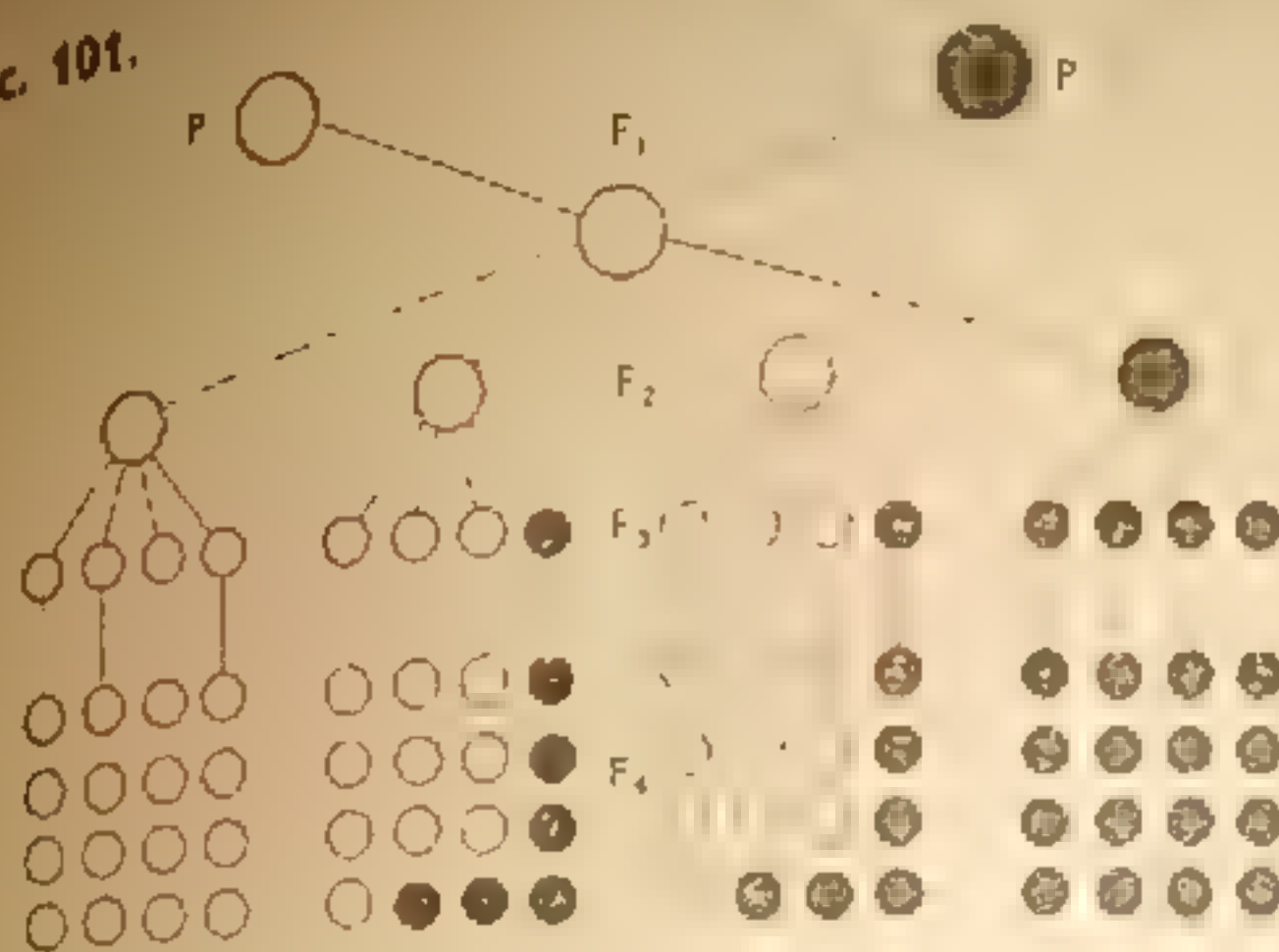
В данном случае зеленая окраска — рецессивный признак.

Первый закон Менделя. В потомстве от первого поколения гибридов (т. е. во втором поколении — F_2) наблюдается расщепление. Появляются растения с признаками обоих родителей в определенных численных соотношениях. Желтых семян оказывается примерно в три раза больше, чем зеленых. Соотношение семян гороха с доминантными и рецессивными признаками близко к отношению 3:1. В опыте Менделя были получены следующие количественные отношения: желтых — 6022, зеленых — 2001. Аналогичные результаты дали опыты по изучению других пар признаков. Оказалось, что пурпурная окраска венчика цветка доминирует над белой и во втором поколении гибридов дает то же соотношение расщепления: 3:1, гладкая форма семян доминирует над морщинистой, длинный стебель — над коротким и т. п. Таким образом, рецессивный признак в первом поколении гибридов не исчезает, а находится в подавленном состоянии и вновь выявляется в определенном количественном соотношении во втором поколении. В этом проявляется первый закон Менделя, получивший название закона расщепления. Он гласит, что гибриды первого поколения (F_1) дают расщепление; в их потомстве снова появляются особи с рецессивными признаками, составляющие примерно четвертую часть от всего числа потомков.

Как будут проявляться признаки в третьем, четвертом и последующих поколениях гибридов? Для решения этого вопроса Мендель провел анализ третьего и последующих поколений путем получения потомства самоопылением каждой особи второго поколения гибридов (F_2) (рис. 101).

На рисунке видно, что растения, обладавшие рецессивным признаком, далее в любом числе поколений не обнаруживали расщепления. В их потомстве никогда не появлялось растений с доминантным признаком. Иначе вели себя гибриды второго поколения, обладавшие доминантным признаком. Среди них при индивидуальном анализе потомства путем самоопыления каждого отдельно взятого растения обнаруживаются две группы. Первая из них, составляющая $1/4$ от общего числа растений с доминантным признаком, далее не расщепляется. В их потомстве, в третьем, четвертом и последующих поколениях, обнаруживается только доминантный признак. Иначе ведут себя дру-

рис. 101.



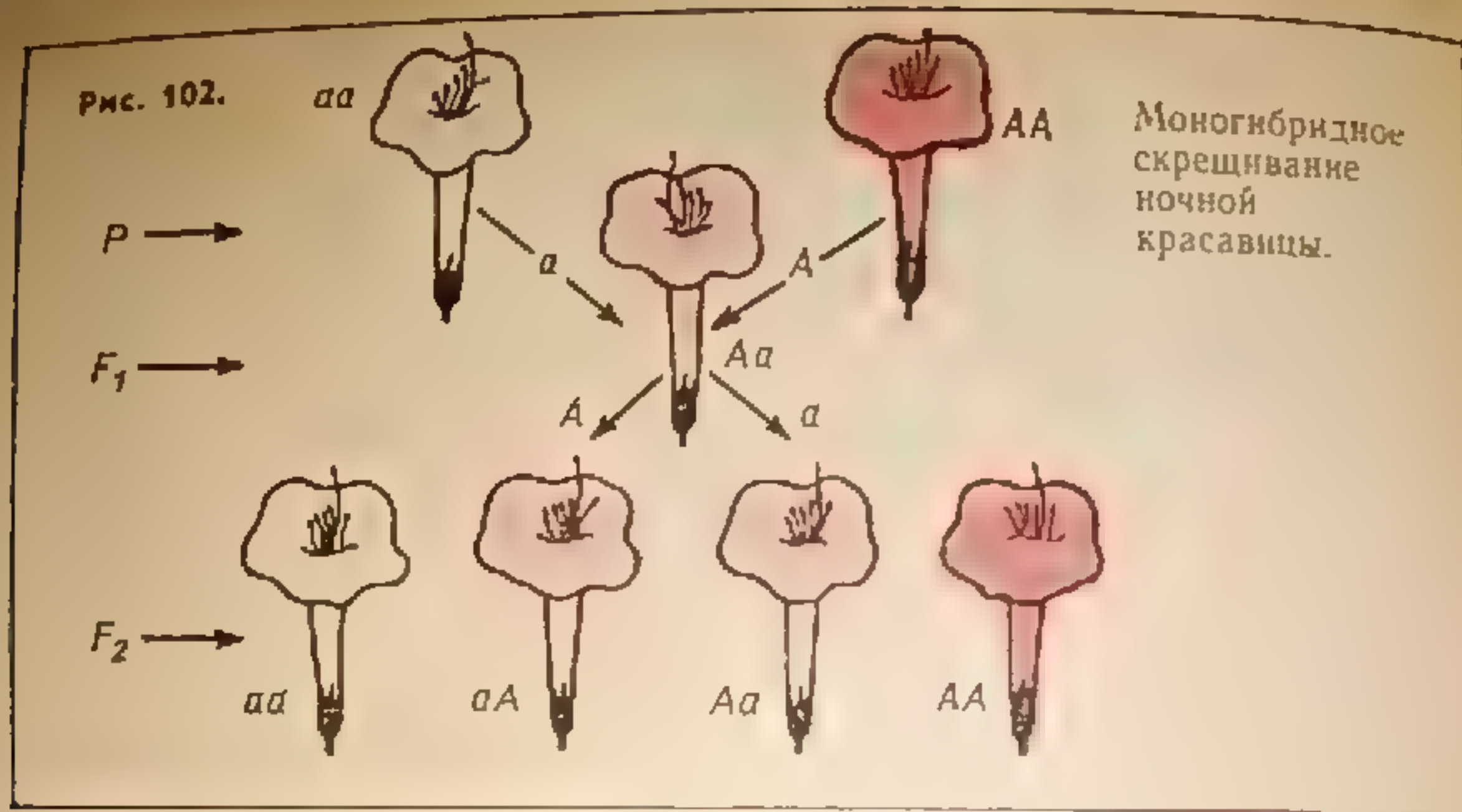
Ход моногибридного скрещивания.

Светлые кружки — организмы с доминантным признаком; темные — с рецессивным признаком.

ные растения второго поколения, составляющие в общем сложности $\frac{2}{3}$ от общего числа растений с доминантным признаком. В их потомстве проявляется расщепление в том же соотношении, 3:1 ($\frac{3}{4}$ доминантных, $\frac{1}{4}$ рецессивных), как и у гибридов второго поколения (рис. 101). Исследования последующих поколений дает сходный результат. Потомки растений с рецессивным признаком не расщепляются. Среди особей с доминантным признаком вновь обнаруживаются по характеру потомства две группы растений: $\frac{1}{3}$ не обнаруживает расщепления, а среди потомства остальных $\frac{2}{3}$ наблюдается расщепление в том же числовом соотношении, 3:1.

Закон расщепления имеет общее значение. У всех растительных и животных организмов при половом размножении имеет место расщепление в потомстве гибридов (F_2).

Мы видели выше, что особи, сходные по внешности, могут обладать различными наследственными свойствами. Например, среди растений гороха с желтыми семенами во втором поколении гибридов одни растения при самоопылении обнаруживают в потомстве расщепление, другие же не расщепляются. Они, можно сказать, «чисты» в отношении своих наследственных зачатков. Такие особи, которые не обнаруживают в своем потомстве расщепления и сохраняют свои признаки в «чистом» виде, называются гомозиготными. Те же, которые в потомстве обнаруживают явление расщепления, т. е. являются по своим наследственным зачаткам гибридными, носят название гетерозиготных. Используя только что приведенные термины, мы можем следующими словами описать рассмотренный выше ход скрещивания двух сортов растений гороха. Для скрещивания в качестве родительских форм были взяты гомозиготные растения с желтыми и зелеными семенами. В первом поколении гибридов получены гетерозиготные «желтые» горохи. При скрещивании их между собой или при самоопылении во втором поколении гибридов наблюдается расщепление в отношении: один гомозиготный



«желтый», два гетерозиготных «желтых» и один гомозиготный «зеленый». Растения с рецессивным признаком никогда не бывают в отношении его гетерозиготными. Это вполне понятно, так как наличие зачатка, определяющего развитие доминантного признака, сделало бы невозможным проявление рецессивной особенности.

Промежуточный характер наследования. В рассмотренных выше примерах правило единообразия первого поколения гибридов выражалось в том, что все гибриды внешне были похожи на одного из родителей, т. е. проявлялось доминирование. Это наблюдается не всегда. Часто гибридные гетерозиготные формы носят промежуточный характер. На рисунке 102 представлены результаты скрещивания двух наследственных форм декоративного растения ночная красавица. Одна из них обладает красными цветками, другая — белыми. Все гибриды первого поколения имеют розовые цветки, т. е. они носят промежуточный характер. При скрещивании их между собой во втором поколении происходит расщепление в отношении: одна красная, две розовые и одна белая (1 : 2 : 1). Очевидно, что в этом случае гетерозиготные (гибридные) растения и по внешности отличаются от гомозиготных (в данном случае красных и белых).

Исследования, проведенные на разных растительных и животных объектах, показали, что между полным доминированием (пример с горохом) и промежуточным характером наследования (ночная красавица) не существует резких различий. Нередко доминирование оказывается неполным и гибридные (гетерозиготные) особи приближаются к одному из родителей.

Гипотеза чистоты гамет. Статистический характер закона расщепления. В чем причина расщепления? Почему при гибридизации не возникает стойких промежуточных гибридов, а происходит появление форм, сходных с родительскими в строго определенных численных отношениях? Для объяснения явления расщепления и наблюдаемых при этом численных отношений

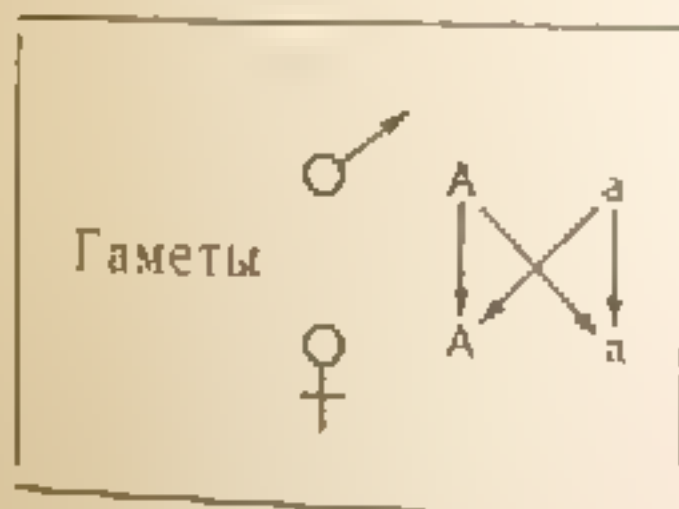
Мендель при
современны
ном чистоты
Связь м
шествует
гаметы нес
менной ген
развитие то
доминантны
(например,
буквой (со
умножения
ной и реце
гетерозигот
гена — кан
гамет утве
ловые клет
т. е. имеют
у гибрида
нантный г
возможны
бинации, г
мужские г

Гаметы

мет удовл
даемые пр
сясны и
ния особе
щих поко
по своей
(AA), оче
и, следов
подобным
гих (Aa),
будет пр
ниях, что
доминиро
ный хара
гомозигот
и по види
Исход
иятия го
паре при

Мендель предложил гипотезу чистоты гамет, которую на основе современных данных цитологии (стр. 205) можно назвать законом чистоты гамет.

Связь между поколениями при половом размножении осуществляется через половые клетки (гаметы). Очевидно, что гаметы несут материальные наследственные факторы (в современной генетике их называют генами), которые определяют развитие того или иного признака. Обозначим ген, определяющий доминантный признак, какой-либо заглавной буквой алфавита (например, A) и соответствующий ему рецессивный ген — малой буквой (соответственно a). Обозначая скрещивание знаком умножения, мы можем представить себе скрещивание доминантной и рецессивной форм символами. $A \times a - Aa$. Очевидно, гетерозиготная форма (первое поколение гибридов) имеет оба гена — как доминантный, так и рецессивный. Гипотеза чистоты гамет утверждает, что у гибридной (гетерозиготной) особи половые клетки не гибридные, т. е. не несут оба гена. Они чисты, т. е. имеют по одному гену из данной пары. Это означает, что у гибрида Aa будут в равном числе возникать гаметы A (доминантный ген) и a (рецессивный ген). Какие же между ними возможны сочетания? Очевидно, что равновероятны четыре комбинации, поясняемые следующей схемой (значок σ означает мужские гаметы, значок ϕ — женские).



В результате этих четырех комбинаций получаются сочетания $AA + Aa + aA + aa$, иначе, $AA + 2Aa + aa$. Если мы будем иметь дело с доминантным и рецессивным признаками, то ясно, что первые три сочетания дадут особей с доминантным признаком, четвертое — с рецессивным. Таким образом, гипотеза чистоты га-

мет удовлетворительно объясняет причину расщепления и наблюдаемые при этом численные соотношения. Вместе с тем становятся ясны и причины различия в отношении дальнейшего расщепления особей с доминантными признаками в третьем и последующих поколениях гибридов. Особи с доминантными признаками по своей наследственной природе неоднородны. Одна из трех (AA), очевидно, будет давать гаметы только одного сорта (A) и, следовательно, при самоопылении или скрещивании с себе подобными не будет расщепляться. Что касается двух других (Aa), то они дадут гаметы двух сортов и в их потомстве будет происходить расщепление в тех же численных соотношениях, что и у гибридов второго поколения. В тех случаях, когда доминирования не наблюдается и гибриды носят промежуточный характер, особи наследственного состава Aa отличаются от гомозиготных форм не только по наследственной структуре, но и по видимым признакам (рис. 102).

Исходя из гипотезы чистоты гамет, мы можем углубить понятия гомозиготы и гетерозиготы. Гомозиготными по данной паре признаков следует называть такие особи, которые образу-

ют лишь один сорт гамет и поэтому при самоопылении или скрещивании с себе подобными в потомстве не расщепляются. Гетерозиготы дают разные гаметы (несущие разные гены данной пары), и поэтому в их потомстве наблюдается расщепление.

Гипотеза чистоты гамет устанавливает, что закон расщепления есть результат случайного сочетания гамет, несущих разные гены. Соединится ли гамета, несущая ген A , с другой гаметой, тоже несущей ген A или же a , при условии равной жизнеспособности гамет и равного их количества, одинаково вероятно. Гораздо менее вероятно, что сочетание одинаковых гамет произойдет два раза подряд. Еще менее вероятно, что это будет наблюдаться три раза подряд. Приведем такую аналогию. Если мы будем кидать монету на пол, то одинаково вероятно, что сверху окажется «орел» или «решка». Ожидать, что монета два раза подряд упадет одной стороной, уже менее вероятно. Если мы будем бросать монету много раз (например, 15 или 20), то вероятность падения монеты одной стороной ничтожно мала. При достаточно большом числе наблюдений число падений «орлом» или «решкой» окажется примерно равным. При случайном характере единичного события общий результат оказывается закономерным. Здесь мы встречаемся со статистической закономерностью, определяемой большим числом равновероятных событий. К числу статистических закономерностей, определяемых равной вероятностью встречи разных гамет, относится и менделевский закон расщепления (первый закон). Из сказанного становится понятно, что отношение 3:1 при моногибридном скрещивании (в случае полного доминирования) или же 1:2:1 (при промежуточном характере наследования) следует рассматривать как статистическую закономерность.

Цитологические основы гипотезы чистоты гамет. В то время, когда Мендель сформировал гипотезу чистоты гамет, еще ничего не было известно о митотическом делении клетки, о развитии гамет, о мейозе (редукционном делении). В настоящее время благодаря успехам в изучении клетки законы Менделя получили твердую цитологическую базу. Как мы уже видели в главе VIII (стр. 199), каждый вид растений и животных обладает определенным числом хромосом. В соматических клетках все хромосомы парные (за исключением особых, половых хромосом). При созревании половых клеток происходит временное соединение парных (гомологичных) хромосом, и в процессе мейоза они расходятся в разные клетки (рис. 93). Благодаря этому в гаметах оказывается половинное по сравнению с соматическими клетками число хромосом, причем от каждой пары хромосом имеется по одной. Хромосомный набор соматических клеток называется диплоидным ($2n$), половых — гаплоидным (n). При оплодотворении вновь восстанавливается диплоидный (парный) хромосомный набор, в котором каждая пара хромосом представлена одной отцовской и одной материнской.

Допустим для простоты, что у изучаемого нами организма имеется всего одна пара хромосом (рис. 103), а гены — это уча-

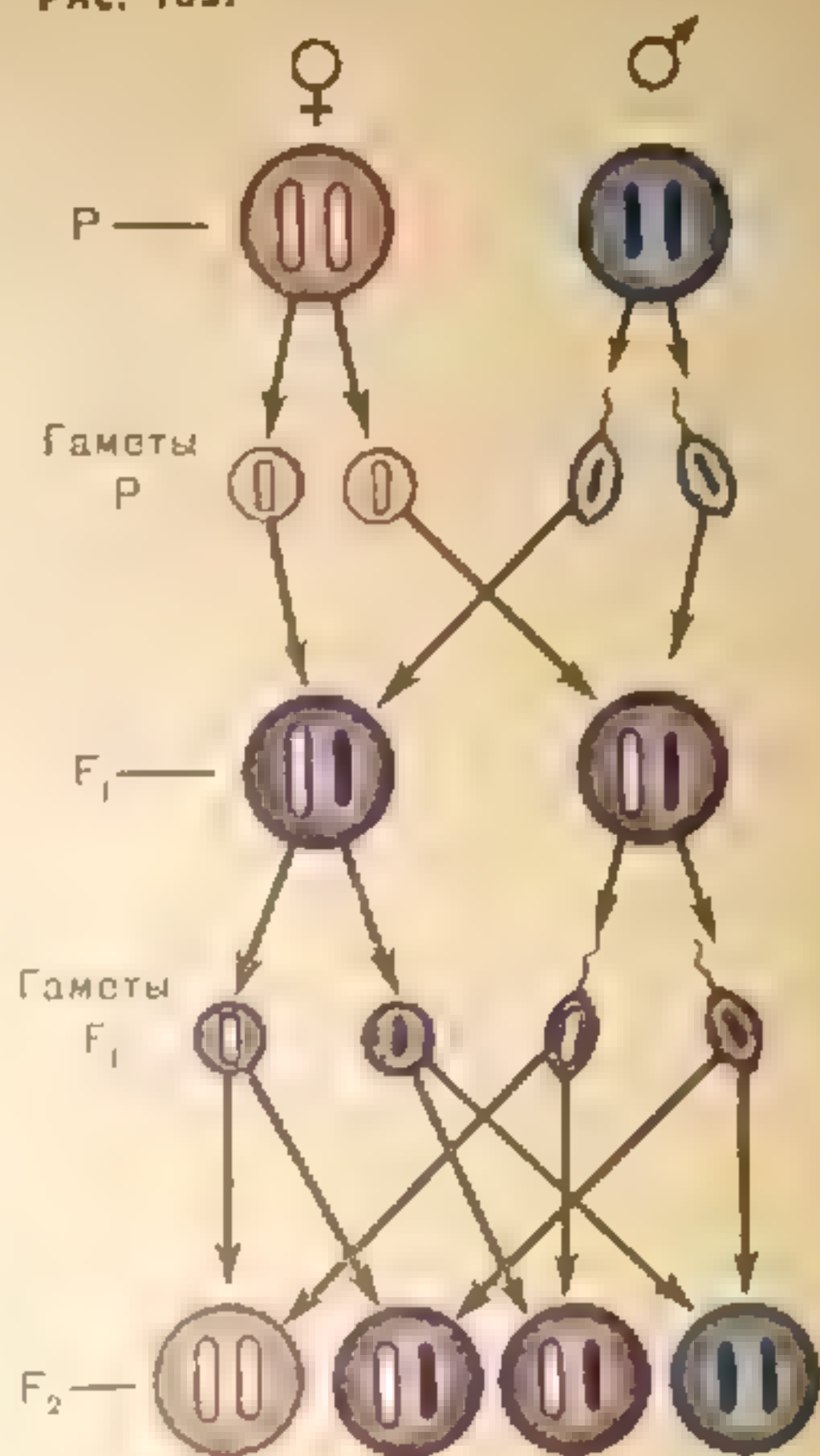
стки
распо
хромо
при м
пары
в гам
то, ес
по од
ры. П
ного
виновь
хромо
них г
дигет
загот
дала
домин
репесо
ингота
гбри
дет те
в. и он
... то
д. и
...
г. и он
д. и
одном
В. и он
и в
это хр
тезис
и чего
теории
Пр
Г. и он
компо
нием
А. и он
ностях
сформ
дальне
вания
опреде
ры. Та
ной ок
цветка
звание
тельно
дельны

стки хромосом. Парные гены расположены в гомологичных хромосомах. Легко понять, что при мейозе, когда из каждой пары гомологичных хромосом в гаметах окажется по одной, то, естественно, в них будет и по одному гену из каждой пары. При образовании диплоидного набора хромосом в зиготе вновь восстановится парность хромосом и локализованных в них генов. Если исходные родительские формы были гомозиготными и одна из них обладала хромосомами, несущими доминантные гены, а другая — рецессивные, то понятно, что зигота, из которой разовьется гибрид первого поколения, будет гетерозиготной. При созревании у гетерозиготной особи половых клеток в процессе редукционного деления гомологичные хромосомы окажутся в разных гаметах и, следовательно, в гаметах будет лишь по одному гену из каждой пары. Возникло прочно утвердившееся в генетике представление, что хромосомы являются носителями генов. В этом заключается сущность хромосомной теории наследственности.

При делении клетки происходит удвоение хромосом (стр. 199). Ему предшествует редупликация молекул основного химического компонента хромосом — ДНК. Этот процесс связан и с удвоением генов (стр. 166).

Аллельные гены. Рассмотренный нами материал о закономерностях наследования при моногибридном скрещивании позволяет сформулировать некоторые основные понятия, необходимые для дальнейшего изучения генетики. Мы видели на примере наследования у гороха, ночной красавицы и других объектов, что гены, определяющие развитие различных признаков, составляют пары. Такими парами являются, например, ген желтой и ген зеленой окраски семян гороха, ген белой и ген красной окраски цветка ночной красавицы и т. п. Такие парные гены носят название аллельных, а пара генов называется аллелью. Следовательно, гены желтой и зеленой окраски семян гороха — это аллельные гены.

Рис. 103.



Доминантные и рецессивные гены
Ген — участок молекулы ДНК, на котором находится генетическая информация
Аллельные гены — гены, расположенные в одной и той же паре хромосом

Аллельные гены располагаются в гомологичных, т. е. парных, хромосомах. Аллельные гены обнаруживают явление расщепления. Напротив, неаллельные гены не расщепляются по закону Менделя. Например, не наблюдается расщепления в отношении окраски семян и окраски цветка. Эти гены и определяемые ими признаки не образуют аллели.

Генотип и фенотип. Важными понятиями генетики являются понятия о фенотипе и генотипе. Генотипом называют совокупность генов (наследственных факторов), которые организм получает от родителей. Понятно, что генотип (или, иначе, наследственная основа) определяет формирование признаков развивающегося из зиготы организма. Однако любой процесс индивидуального развития протекает в тесной и неразрывной связи с внешними условиями (почва, питание, температура, газовый режим и т. п.). При разных условиях сходные генотипы могут дать резко различающееся выражение признака. Мы привели уже один такой пример развития одуванчика (рис. 100). Поскольку оба изображенных на рисунке растения выросли из половинок одного и того же корня, ясно, что генотип у них сходен, а признаки резко различны. Вся совокупность внешних и внутренних признаков организма и называется фенотипом. Для того чтобы выявить полезные свойства породы домашних животных или сорта культурных растений, необходимо создавать благоприятные условия для развития, при которых заложенные в генотипе положительные свойства породы или сорта проявлялись бы фенотипически.

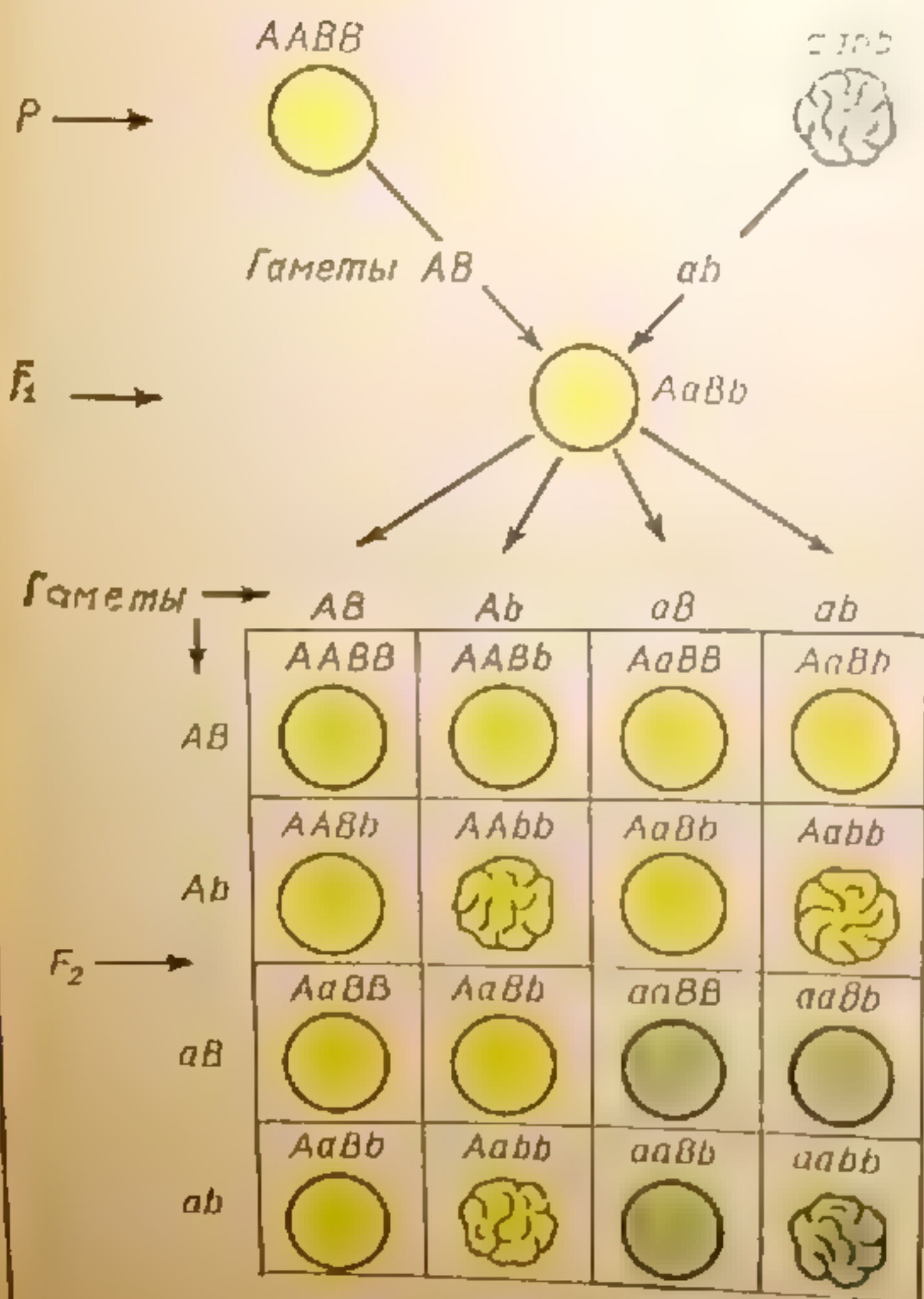
- ?** 1. Что изучает генетика? 2. У крупного рогатого скота ген безрогости (комолости) доминирует над геном рогатости. Какой результат можно ожидать от скрещивания гетерозиготного быка с гетерозиготными комолыми коровами? С гомозиготными комолыми коровами? Может ли от рогатых коровы и быка родиться комолый теленок? 3. В чем заключается цитологическая основа чистоты гамет? 4. Какие гены называются аллельными? 5. Определите понятия «фенотип» и «генотип». 6. Определите понятия «гомозигота» и «гетерозигота».

54. Дигибридное и полигибридное скрещивание

Моногибридное скрещивание легко может быть получено в опыте. Однако в природных условиях скрещивание обычно происходит между особями, различающимися по многим признакам. Каковы же в этих более сложных случаях закономерности наследования? Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим дигибридное скрещивание, т. е. наследование двух пар признаков. В качестве примера обратимся вновь к разным сортам гороха, изученным Менделем. Результаты опыта изображены на рисунке 104. Исходными формами для скрещивания взяты, с одной стороны, сорт гороха с желтыми и гладкими семенами, с другой — с зелеными и морщинистыми. В этом скрещивании мы име-

ем дело с двумя аллелями. Одна аллель включает гены окраски семян (желтая, зеленая), вторая — формы семян (гладкая, морщинистая). Если для скрещивания взяты гомозиготные формы, то все потомство в первом поколении гибридов будет обладать желтыми гладкими семенами. Следовательно, в первой аллели доминантной (как это уже известно нам из анализа моногибридного скрещивания) окажется желтая окраска, рецессивной — зеленая (аллель $A—a$). Во второй аллели (обозначим ее $B—b$) гладкая форма семян доминирует над морщинистой. При самоопылении или скрещивании между собой гибридов первого поколения произойдет расщепление. По фенотипу получится четыре группы особей в различных численных отношениях: на девять желтых гладких (AB) будет приходиться три желтые морщинистые (Ab), три зеленые гладкие (aB) и одна зеленая морщинистая (ab). В кратком виде это расщепление можно представить следующей формулой: $9AB:3Ab:3aB:1ab$.

Рис. 104.



Дигибридное скрещивание гороха. Исходные родительские формы различаются по двум аллелям желтой — зеленой окраски семян ($A—a$) и гладкой морщинистой форме семян ($B—b$).

Рассмотрим более подробно ход скрещивания и расщепления (рис. 104). Пользуясь принятыми символами, генотипы исходных гомозиготных родительских форм следует обозначить как $AABB$ и $aabb$. Очевидно, исходя из гипотезы чистоты гамет, их половые клетки должны нести по одному гену от каждой аллели, т. е. гаметы будут у одной родительской формы AB , а у второй — ab . В результате оплодотворения получится гибрид наследственного состава $AaBb$. Этот гибрид гетерозиготен по двум аллелям, но так как у него присутствуют гены A и B , то по фенотипу он сходен с одним из родителей. Результаты расщепления во втором поколении можно предсказать, если знать, какие гаметы получаются у дважды (по обоим аллелям) гетерозиготных гибридов первого поколения. Так как в гамете из каждой аллели может присутствовать только один ген (гипотеза чистоты гамет), то, очевидно, у двойных гетерозигот должны быть четыре сорта гамет, а именно: AB , Ab , aB и ab . Встреча между любыми двумя из этих гамет, принадлежащих различным родителям, одинаково вероятна. Из четырех по два может быть 16 различных комбинаций. Все они представлены на таблице, где выписаны также все 16 образующихся при этом генотипов. Во всех 16 квадратах нарисованы также фенотипы соответствующих особей. Легко подсчитать окончательный результат расщепления F_2 , который уже приведен выше.

Когда скрещиваются организмы, различающиеся по признакам, в отношении которых наблюдается полное доминирование, то число возникающих во втором поколении гибридов различных генотипов значительно больше, чем число разных фенотипов. Как было показано, при дигибридном расщеплении наблюдается четыре разных фенотипа. Большинство их складывается из нескольких генотипов. Среди растений гороха, обладающих желтыми и гладкими семенами (фенотип AB), как бы скрывается четыре разных генотипа, а именно: формы гомозиготные ($AABB$), гетерозиготы по признаку окраски семян ($AaBB$), гетерозиготы по признаку формы семян ($AABb$) и, наконец, формы гетерозиготные по обоим аллелям ($AaBb$). Таким образом, этот фенотип включает четыре разных генотипа. Растения с желтыми морщинистыми семенами (фенотип Ab) представлены двумя генотипами: гомозиготами $AAbb$ и гетерозиготами $Aabb$. Два генотипа скрываются и за фенотипом с зелеными гладкими семенами (aB), а именно $aaBB$ и $aabB$. Что касается рецессивных форм с морщинистыми зелеными семенами, то они всегда гомозиготны и представлены одним генотипом $aabb$. Таким образом, число различных генотипических комбинаций у второго поколения гибридов (F_2) оказывается равным девяти.

Рассмотренные количественные отношения между числом различных фенотипов и генотипов в F_2 при дигибридном скрещивании справедливы для аллелей с полным доминированием. Ясно, что в случаях промежуточного характера наследования число фенотипически различных форм будет больше. Если по обоим признакам наследование промежуточное, то количество

фенотипически различных форм. Хотя при скрещивании морщинистых с гладкими семенами гороха, во втором поколении наблюдается четыре фенотипа, но большинство из них скрывается за фенотипом с желтыми гладкими семенами. В то же время при расщеплении чистоты сохранившихся у растений гороха, скрывается и за фенотипом с зелеными гладкими семенами. 9 + 3 + 3 + 1 = 16. Рого можно гласит, аллели, ся к др.

Второе поколение. То и в расщеплении что сохранившихся у растений гороха, скрывается и за фенотипом с зелеными гладкими семенами. 9 + 3 + 3 + 1 = 16. Рого можно гласит, аллели, ся к др. Цитируются связи, цессам, вании (рис. 10).



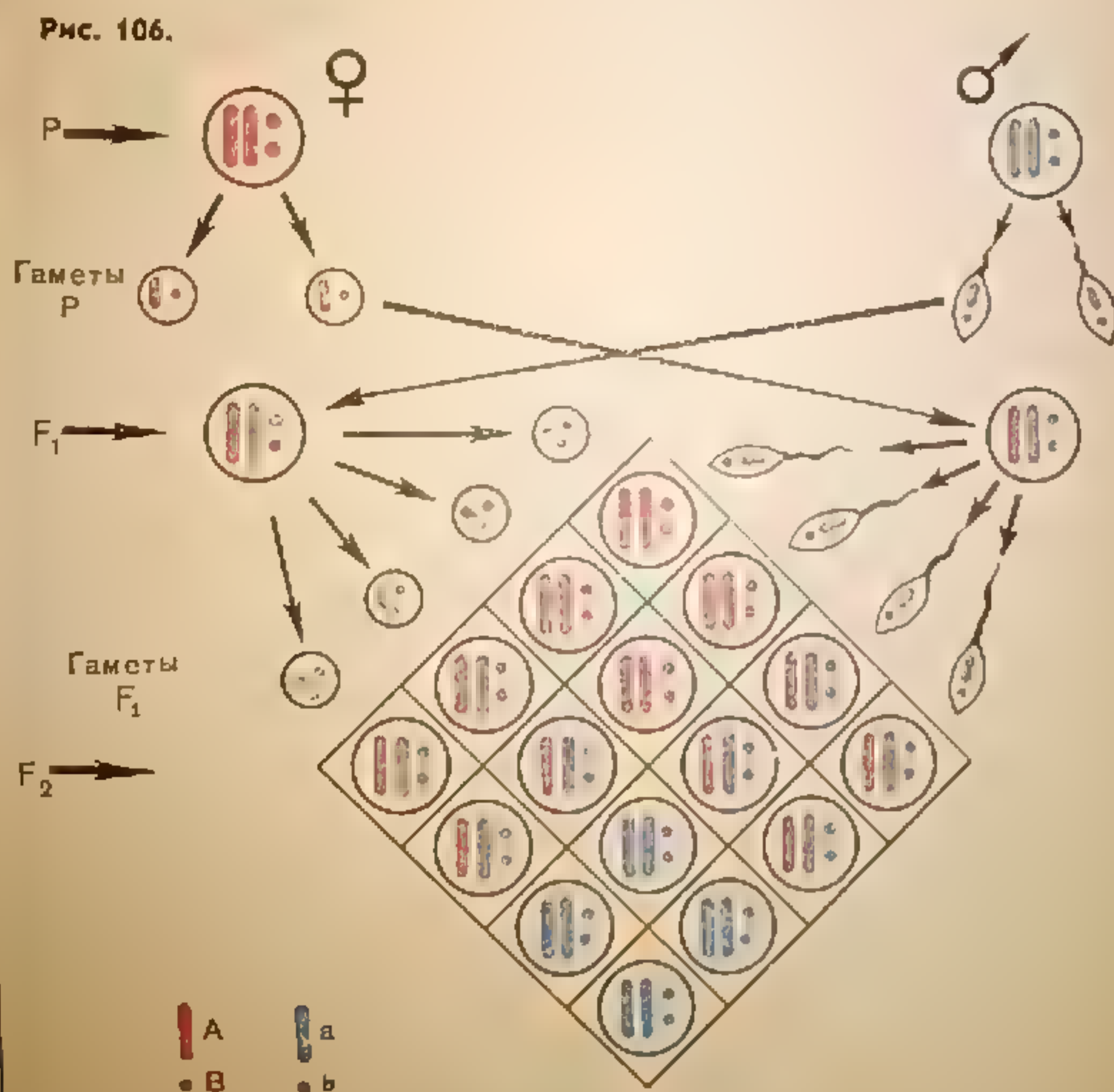
фенотипически различных групп равняется числу генотипически различных групп.

Ход дигибридного скрещивания можно показать и на примере животных. На рисунке 105 изображено дигибридное скрещивание двух пород морских свинок: черных гладких с белыми мохнатыми. В данном случае черная окраска доминирует над белой, мохнатая шерсть над гладкой. Из рисунка без дальнейших пояснений ясен ход скрещивания, который совершенно аналогичен рассмотренному дигибриднему скрещиванию горохов.

Второй закон Менделя. Сравним результаты дигибридного и моногибридного скрещиваний. Если учитывать результаты расщепления по каждой аллели в отдельности, то легко видеть, что соотношение, характерное для моногибридного скрещивания, сохраняется. При рассмотрении выше дигибридном расщеплении у горохов отношение числа желтых семян (A) к зеленым (a) равняется $12:4$ ($3:1$). То же касается и отношения гладких семян (B) к морщинистым (b). Таким образом, дигибридное расщепление представляет собой, по существу, два независимо идущих моногибридных, которые как бы накладываются друг на друга. Это может быть выражено алгебраически как квадрат двучлена $(3+1)^2 = 3^2 + 2 \times 3 + 1^2$, или, что то же самое, $9+3+3+1$. Мы подошли, таким образом, к формулировке второго очень важного закона, установленного Менделем, который можно назвать законом независимого распределения генов. Он гласит, что расщепление по каждой паре признаков (по каждой аллели) идет независимо от других пар признаков (относящихся к другим аллелям).

Цитологические основы дигибридного расщепления. Как связать закономерности дигибридного расщепления с теми процессами, которые совершаются в половых клетках при их созревании и оплодотворении? Эти отношения поясняются на схеме (рис. 106). Диплоидный набор хромосом представлен здесь дву-

мя гомологичными парами. В парных хромосомах расположены аллельные гены. В палочковидных хромосомах гены *A* (красные) и *a* (синие), в сферических хромосомах гены *B* (красные) и *b* (синие). В результате мейоза из каждой гомологичной пары хромосом в гаметах остается по одной (см. схему). В результате оплодотворения в двойной гетерозиготе *AaBb* в каждой паре хромосом будут разные гены одной аллели (на схеме красная и синяя). При редукционном делении у гибрида первого поколения (F_1) в равном количестве образуется четыре сорта гамет. Это зависит от того, что при мейозе во время конъюгации хромосом, предшествующей их расхождению, взаимное расположение хромосом разных гомологичных пар носит случайный характер. Если, например, к одному полюсу отходит «синяя» палочковидная хромосома, то из другой пары с одинаковой долей вероятности может отойти или тоже «синяя», или же «красная». В результате оплодотворения и развития второго поколения гиб-



Цитологические основы дигибридного скрещивания.

Хромосомы, несущие доминантные гены, светло, рецессивные — темные

ридов (F_2) одинаково вероятно образование 16 категорий зигот. На схеме все возможные комбинации хромосом в зиготах вписаны в квадрате.

Зная, что аллельные гены локализованы в гомологичных хромосомах, мы можем несколько иначе изобразить ход дигибридного скрещивания и расщепления, чем мы это делали до сих пор, представив в формулах гомологичные хромосомы в виде черточек. Генетическая формула исходных гомозиготных родительских форм приобретает следующий вид:

$$1) \frac{A}{A} \frac{B}{B} \text{ (вместо } AABV) \text{ и } 2) \frac{a}{a} \frac{b}{b} \text{ (вместо } aabb)$$

Соответственно формула двойной гетерозиготы будет выглядеть так: $\frac{A}{a} \frac{B}{b}$. Генотипы второго поколения приобретут следующий вид:

$$\begin{array}{lll} \frac{A}{A} \frac{B}{B} (AABV), & \frac{A}{a} \frac{B}{B} (AaBV), & \frac{A}{A} \frac{B}{b} (AABb), \\ \frac{A}{a} \frac{B}{b} (AaBb), & \frac{a}{a} \frac{B}{B} (aaBV), & \frac{a}{a} \frac{B}{b} (aaBb), \\ \frac{A}{A} \frac{b}{b} (AAbb), & \frac{A}{a} \frac{b}{b} (Aabb), & \frac{a}{a} \frac{b}{b} (aabb) \end{array}$$

Такой способ обозначения имеет то преимущество, что он указывает на связь генов с хромосомами.

Общие формулы расщепления. Пользуясь законами Менделя, можно разобраться и в более сложных случаях расщепления — для тригибридов, тетрагибридов и т. п. В основе всегда будет лежать моногибридное расщепление в отношении 3:1 (при наличии доминирования). Для дигибридов это будет $(3:1)^2$, для тригибридов — $(3:1)^3$, для n -й степени гибридности — $(3:1)^n$. Для тригибридов, где различия между родительскими формами сводятся к трем генам трех разных аллелей (назовем их условно ABC и abc), генотипическая формула тригетерозиготы первого поколения будет $AaBbCc$ (или $\frac{A}{a} \frac{B}{b} \frac{C}{c}$). Рекомендуем ис-

ходя из правила чистоты гамет, самостоятельно представить картину расщепления тригетерозиготы в F_2 .

Анализирующее скрещивание. Все изложенное выше о закономерностях в характере наследования признаков ясно показывает, что по фенотипу организма нельзя судить с достаточной полнотой о его наследственной структуре — его генотипе. Например, горох с желтыми гладкими семенами может быть гомозиготным (генотип $AABV$), а может быть и дигетерозиготным ($AaBb$) или гетерозиготным по одной аллели ($AABb$ и $AaBV$). Определить генотип можно лишь по характеру расщепления гибридного поколения. Определение генотипа не только пред-

ставляет теоретический интерес, но также имеет и большое практическое значение при селекционной работе по выведению или улучшению пород и сортов.

При этом широко используется анализирующее скрещивание, которое представляет собой скрещивание особи, генотип которой мы хотим определить, с формой чисто рецессивной по изучаемым аллелям. Такое скрещивание имеет большие преимущества, заключающиеся в том, что позволяют в первом же поколении гибридов определить гаметы анализируемой формы. Действительно, чисто рецессивная форма всегда гомозиготна (стр. 221). Например, зеленые морщинистые семена гороха имеют генотип $aabb$ и дают гаметы только одного вида — ab . Допустим, что горох, обладающий зелеными морщинистыми семенами, мы скрестили с горохом с желтыми и гладкими семенами, генотип которых нам неизвестен, и получили потомство, в котором 25% растений обладают желтыми гладкими семенами, 25% — желтыми морщинистыми, 25% — зелеными гладкими и 25% — зелеными морщинистыми. Что можем мы на основании этих данных сказать о генотипе взятой нами для скрещивания формы? Очевидно, можно утверждать, что она образовывала 4 сорта гамет в равных количествах, т. е., другими словами, была гетерозиготной по двум аллелям. Приведенная ниже таблица поясняет ход данного скрещивания:

		Желтые гладкие $AaBb$				
		Гаметы	AB	Ab	aB	ab
зеленые морщин. $aabb$	Гаметы ab		$AaBb$	$Aabb$	$aaBb$	$aabb$
			желтые гладкие	желтые морщин.	зеленые гладкие	зеленые морщин.

Допустим, что в другом аналогичном скрещивании растений с теми же признаками мы не получили в потомстве никакого расщепления и все растения оказались имеющими лишь доминантные признаки по изучаемым аллелям (т. е. желтые гладкие семена). Это будет указывать на то, что взятая нами особь была доминантной гомозиготной ($AABB$). Этот случай уже был разобран подробно выше (54).

1. У томатов круглая форма плодов (A) доминирует над грушевидной (a), красная окраска плодов (B) — над желтой (b). Пользуясь генетическими формулами, напишите ход следующих скрещиваний: А) растение с красными округлыми плодами скрещено с растением, обладающим грушевидными желтыми плодами. В потомстве все растения дали красные округлые плоды. Каковы генотипы родителей? Гибридов? Напишите формулы. Б) Генотипы родителей как в предыдущем опыте, но результат иной. Среди гибридов 25% растений дают красные округлые плоды, 25% — красные грушевидные плоды, 25% —

Н
рой
разн
мосс
диль
ний,
теор
мест
риде
мосс
зак
при
чая
сма
Е
нов
его
шая
иск
раз
дней
обра
ло х

желтые округлые плоды, 25% — желтые грушевидные плоды (отношение 1:1:1:1). Каковы генотипы родителей? Гибридов? В) Фенотипы родителей те же, но результат расщепления иной. В потомстве 50% растений дают красные округлые плоды и 50% — красные грушевидные плоды. Каковы генотипы родителей? Гибридов? 2. Что такое анализирующее скрещивание и в чем его преимущество при генетическом анализе?

55. Явление сцепленного наследования

Независимое распределение наследственных факторов (второй закон Менделя) основано на том, что гены, относящиеся к разным аллелям, размещены в разных парах гомологичных хромосом. Естественно возникает вопрос: а как же будет происходить распределение разных (неаллельных) генов в ряде поколений, если они лежат в одной и той же паре хромосом? Уже чисто теоретически следует допустить, что такое явление должно иметь место, ибо число генов, которое удается установить путем гибридологического анализа, во много раз превосходит число хромосом. Очевидно, что к генам, находящимся в одной хромосоме, закон независимого распределения (второй закон Менделя) неприменим и закон этот должен быть ограничен лишь теми случаями, когда гены разных аллелей находятся в разных хромосомах.

Вопрос о закономерностях наследования при нахождении генов в одной хромосоме был тщательно изучен Т. Морганом и его школой. Основным объектом исследований служила небольшая плодовая мушка дрозофила (рис. 107). Это насекомое исключительно удобно для генетической работы. Мушка легко разводится в лабораторных условиях, плодовита, каждые 20—25 дней дает новое поколение, обладает многочисленными и разнообразными наследственными изменениями, имеет небольшое число хромосом (в диплоидном наборе — 8).

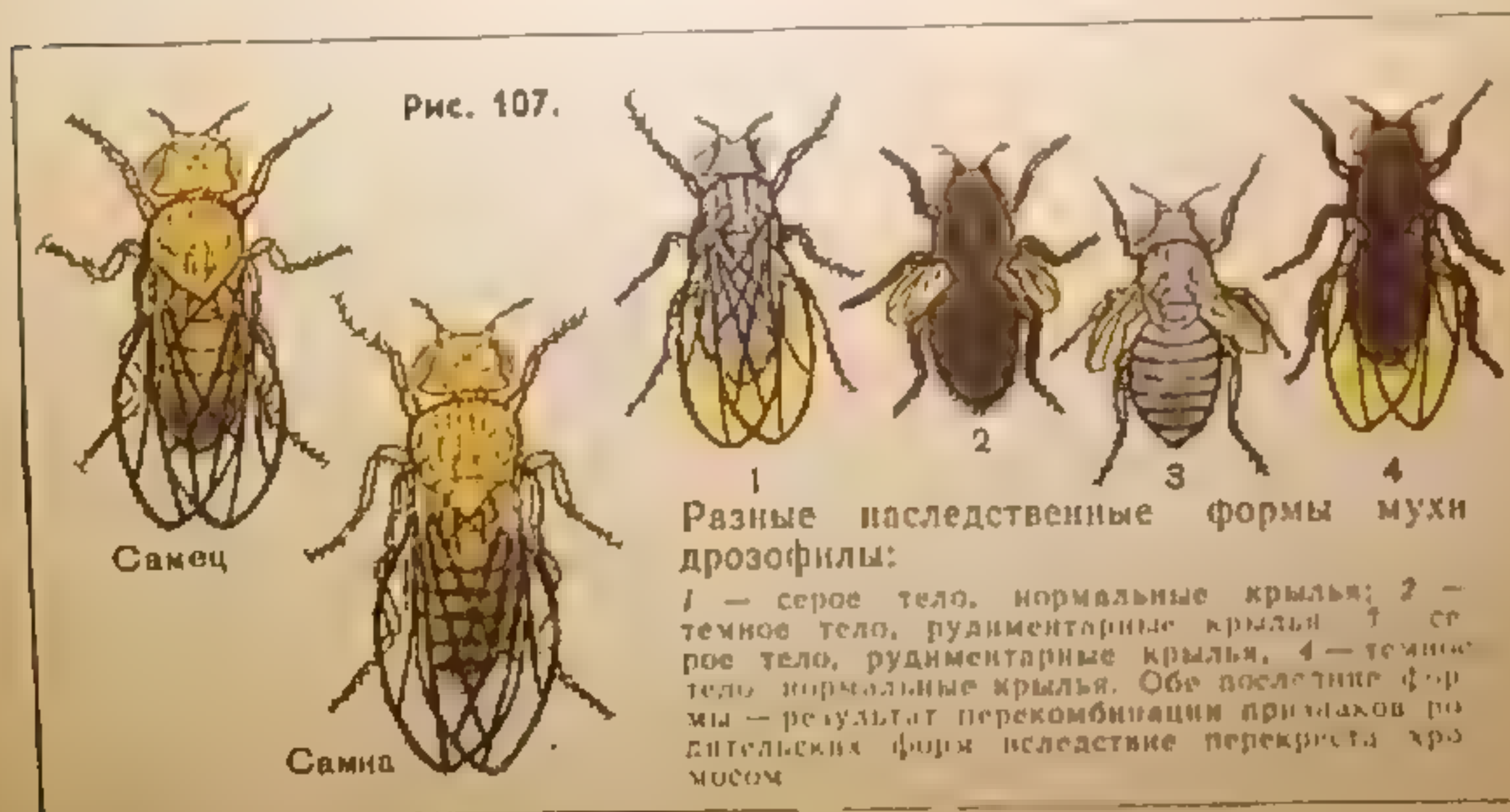


Рис. 108.



Схема перекреста хромосом.

Два гена, расположенные в одной хромосоме (светлые круги в красной хромосоме), в результате перекреста оказываются в разных гомологичных хромосомах.

щивании гибридов между собой во втором поколении не произойдет независимого распределения признаков по двум аллелям («серое тело — темное тело» и «нормальные крылья — укороченные крылья») по формуле $(3:1)^2$ (стр. 229).

Среди особей второго поколения гораздо чаще, чем это можно было бы ожидать при независимом распределении признаков, будут встречаться мушки с серым телом и нормальными крыльями и мушки с темным телом и недоразвитыми крыльями. Лишь у очень небольшого числа мушек произойдет перекомбинация родительских признаков и получатся мушки с серым телом и недоразвитыми крыльями и темные с нормальными крыльями (рис. 107). Мы видим на этом примере, что гены, обуславливающие признаки «серое тело — нормальные крылья» и «темное тело — недоразвитые крылья», наследуются преимущественно вместе, или, иначе говоря, оказываются сцепленными между собой. Это сцепление зависит от локализации генов в одной и той же хромосоме. Поэтому при мейозе эти гены не расходятся, не отделяются друг от друга, а наследуются вместе. Явление сцепления генов, локализованных в одной хромосоме, известно под названием закона Моргана.

Почему же все-таки среди гибридов второго поколения появляется небольшое число особей с перекомбинацией родительских признаков? Почему сцепление генов не является абсолютным? Исследования показали, что эта перекомбинация генов обусловлена тем, что в процессе мейоза при конъюгации гомологичных хромосом (стр. 207) они в известном проценте случаев обмениваются своими участками, или, иначе говоря, между ними происходит *перекрест* (рис. 108). Ясно, что при этом гены, локализованные первоначально в одной хромосоме, окажутся в разных хромосомах, между ними произойдет перекомбинация. В настоящее время явление сцепления генов исследовано на многих объектах. Среди растений особенно полно изучены в этом отношении кукуруза, томаты, посевной горох.

Многочисленные опыты показали, что гены, локализованные в одной хромосоме, оказываются сцепленными, т. е. наследуются преимущественно вместе, не обнаруживая независимого распределения по второму закону Менделя. Рассмотрим конкретный пример. Если скрестить дрозофилу с серым телом и нормальными крыльями с мушкой, обладающей темной окраской тела и укороченными крыльями, то в первом поколении гибридов все мушки будут серыми с нормальными крыльями. При скре-

56.

В
В ра
завис
окра
прис
нали
семян
ет не
ственно
може
из с
предо
прин
чаще
ствия

Р
дится
У

На р
ховид
нии м
гребн
Перво
а в Б
ных,

А
горох
рохов
нии 3
риды,
видны

Рис



9

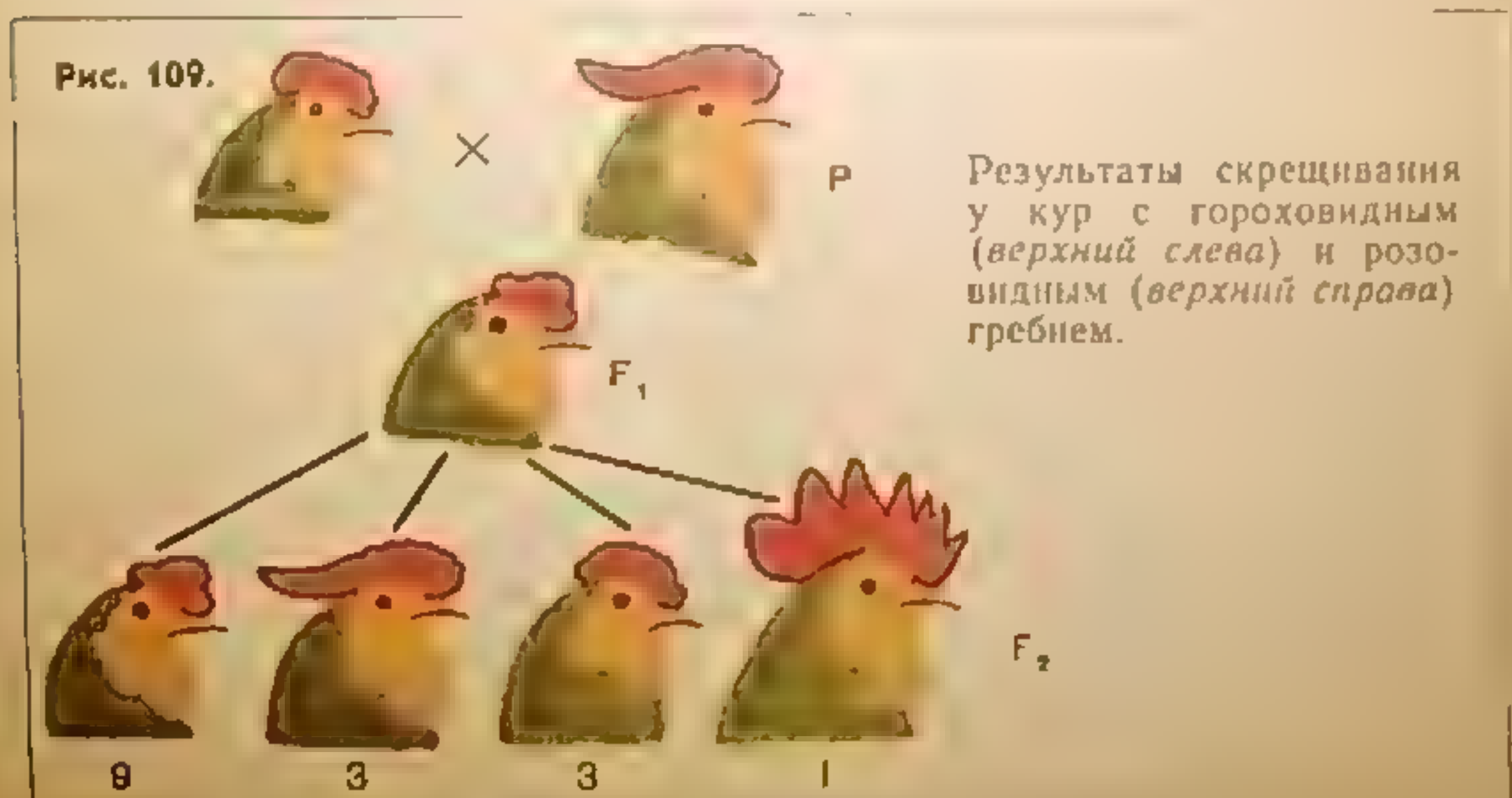
56. Взаимодействие генов

Взаимодействие генов. Новообразования при скрещивании. В рассмотренных выше примерах имело место относительно независимое проявление действия генов. Доминантный ген желтой окраски семян гороха вызывает развитие этого признака как в присутствии доминантного гена гладкой формы семян, так и при наличии аллельного ему рецессивного гена морщинистой формы семян. У морских свинок ген черной или белой окраски действует независимо от генов, определяющих характер развития шерстного покрова. На основании знакомства с этими примерами может сложиться впечатление, что генотип организма складывается из суммы отдельных, независимо действующих генов. Такое представление ложно. Хотя в некоторых случаях действие генов, принадлежащих к разным аллелям, относительно независимо, но чаще между ними осуществляются разные формы взаимодействия.

Развитие того или иного признака организма обычно находится под контролем многих генов.

У разных пород кур имеются разнообразные формы гребня. На рисунке 109 изображены четыре типа формы гребня: гороховидный, розовидный, ореховидный и зрестой. При скрещивании между собой гомозиготных птиц с розовидным и простым гребнем признак розовидного гребня оказывается доминантным. Первое поколение гибридов будет иметь розовидный гребень, а в F_2 произойдет расщепление в отношении 3 : 1 (три розовидных, один простой).

Аналогичный результат получается при скрещивании птиц с гороховидным и простым гребнем. В F_1 будет доминировать гороховидный гребень, а в F_2 произойдет расщепление в отношении 3 гороховидных, 1 простой. Ну, а как будут выглядеть гибриды, если скрестить между собой птиц с гороховидным и розовидным гребнем, т. е. с двумя разными, неаллельными доминан-



тными признаками? Опыт показывает (рис. 109), что при этом все потомство в F_1 будет иметь совершенно новую форму гребня — ореховидную. При скрещивании этих гибридов между собой расщепление в F_2 пойдет по дигибридной схеме, а именно: 9 ореховидных, 3 розовидных, 3 гороховидных, 1 простой. Если мы сопоставим этот результат с уже известным нам ходом дигибридного расщепления у горохов и морских свинок, то приходим к заключению, что ореховидный гребень развивается в том случае, когда в зиготе присутствуют одновременно два доминантных гена. Следовательно, простой гребень — результат взаимодействия двух рецессивных генов. Обозначим аллель, доминантный ген которой вызывает развитие гороховидного гребня, латинскими буквами $P—p$, а аллель розовидного гребня как $R—r$. Представим, что для скрещивания взяты гомозиготные родители. Тогда весь ход скрещивания можно написать следующим образом:

Гаметы	P	$PPrr$	\times	$ppRR$
	F_1	$PpRr$	\times	$PpRr$
Гаметы	PR	Pr	pR	pr
PR	$PPRR$ орех.	$PPRr$ орех.	$PpRR$ орех.	$PpRr$ орех.
Pr	$PPRr$ орех.	$PPrr$ горох	$PpRr$ орех.	$Pprr$ горох.
pR	$PpRR$ орех.	$PpRr$ орех.	$ppRR$ розов.	$ppRr$ розов.
pr	$PpRr$ орех.	$Pprr$ горох.	$ppRr$ розов.	$pprr$ простой

Явление взаимодействия неаллельных генов распространено очень широко.

Множественное действие генов. На рассмотренных только что примерах было показано, что большинство наследственно обусловленных признаков организма находится под контролем не одного, а многих генов. Наряду с этим имеет место и другое явление. Во многих случаях ген оказывает свое действие не на один, а на ряд признаков организма. При этом особенно отчетливо выступает одна сторона действия гена, по которой его обычно и называют. Приведем примеры. У большинства растений с красными цветками (наследственный признак) в стеблях (особенно в междоузлиях) тоже имеется красный пигмент. У растений с белыми цветками стебли чисто зеленые. У растения водосбора ген, обуславливающий красную

окрас
фиол
семя
из ж
ного
дроз
деля
плод
нов
Н
мате
расте
жест
П
дейс
значи
ствен
потом
ется
могут
(всп
хара
сма
нов.
гом.
ном
ганиз
С др
ствие
призн
ными

?

➤

57.

Хо
числе
Как
Воп
шого

окраску цветка, имеет множественное действие. Он определяет фиолетовый оттенок листьев, удлинение стебля и больший вес семян. Множество аналогичных примеров можно привести и из животного мира. Ограничимся только одним. У излюбленного объекта генетических исследований — плодовой мушки дрозофилы, генотип которой изучен очень полно, ген, определяющий отсутствие пигмента в глазах, вместе с тем снижает плодовитость, влияет на окраску некоторых внутренних органов и уменьшает продолжительность жизни.

Накопившийся в настоящее время в генетике обширный материал по изучению наследственности у самых различных растений, животных, микроорганизмов говорит о том, что множественное действие гена — широко распространенное явление.

Приведенные факты и наблюдения, касающиеся взаимодействия генов и их множественного действия, позволяют нам значительно углубить общее представление о природе наследственной основы организмов — генотипе. Факт расщепления в потомстве гибридов позволяет утверждать, что генотип складывается из отдельных элементов, которые называются генами и могут отделяться друг от друга и наследоваться независимо (вспомним второй закон Менделя). Наряду с прерывистым характером генотип обладает целостностью и не может рассматриваться как простая механическая сумма отдельных генов. Эта целостность генотипа выражается прежде всего в том, что отдельные компоненты его (гены) находятся в тесном взаимодействии друг с другом. Развитие признаков организма определяется взаимодействием множества генов. С другой стороны, каждый ген обладает множественным действием, оказывая влияние на развитие не одного, а многих признаков организма. Генотип организма связан с определенными структурами клетки, с ее хромосомным аппаратом.

1. При какой форме взаимной локализации неаллельных генов осуществляется второй закон Менделя (независимого распределения) и при какой закон сцепления Морганя? Поясните ответ схематическими рисунками.
2. Разберите подробно, пользуясь генетическими формулами, ход расщепления при анализирующем скрещивании дигетерозиготного петуха с ореховидным гребнем с курами, обладающими простым гребнем. Какое получится потомство и в каких численных соотношениях?
3. Какие факты доказывают, что генотип есть целостная система, а не простая сумма множества независимых единиц — генов?
4. В результате какого процесса нарушается сцепление генов?

57. Генетика пола

Хорошо известно, что у раздельнополых организмов (в том числе и у человека) соотношение полов обычно составляет 1:1. Какие причины определяют пол развивающегося организма? Вопрос этот издавна интересовал человечество ввиду его большого теоретического и практического значения. Хромосомный



Рис. 110.

Хромосомные комплексы самки (слева) и самца дрозофилы.

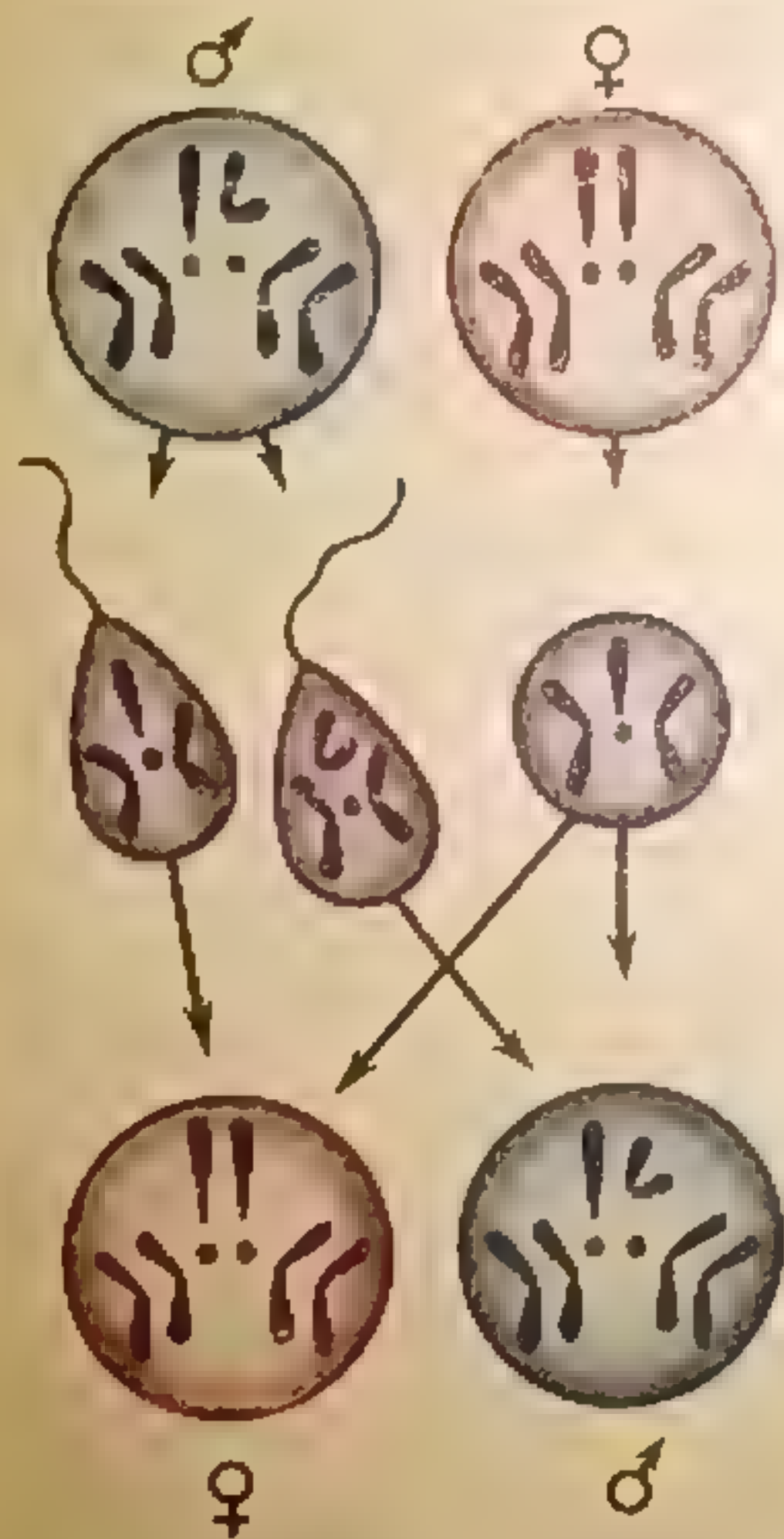


Рис. 111.

Механизм определения пола у дрозофил. У самца образуются гаметы двух категорий: одни несут в гаплоидном наборе X-хромосому, другие — Y-хромосому.

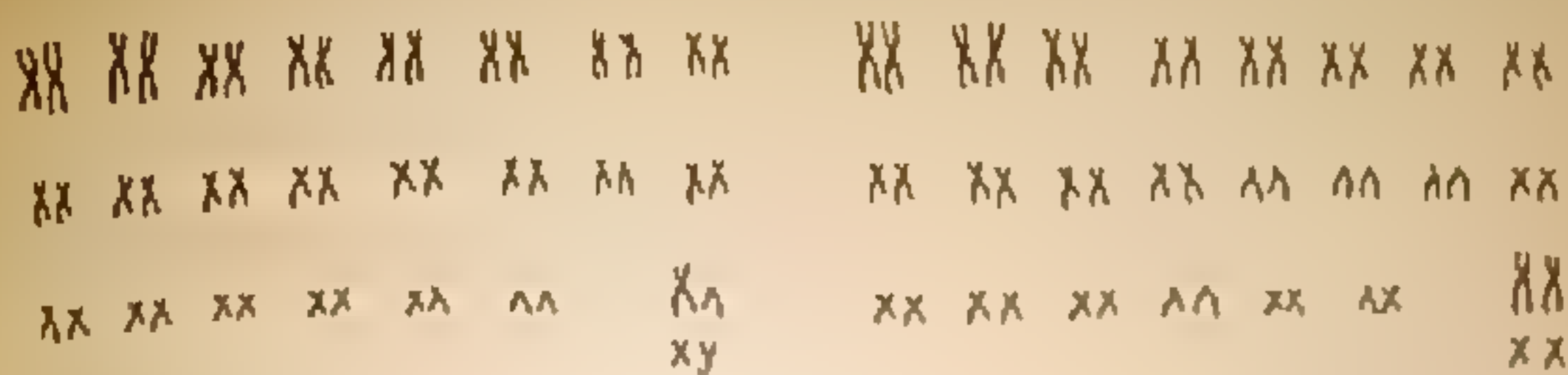
комплекс самцов и самок у большинства раздельнополых организмов неодинаков. Познакомимся с этими различиями на примере набора хромосом у дрозофилы. На рисунке 110 изображены хромосомные комплексы самца и самки, они не вполне одинаковы. По трем парам хромосом самцы и самки не отличаются друг от друга. Но в отношении одной пары имеются существенные различия. У самки присутствуют две одинаковые (парные) палочковидные хромосомы, у самца же имеется только одна такая хромосома, пару которой составляет особая двуплечая хромосома. Те хромосомы, в отношении которых между самцами и самками нет различий, носят название *аутосом*. Хромосомы, по которым самцы и самки отличаются друг от друга, называются половыми. Таким образом, хромосомный комплекс дрозофилы складывается из шести аутосом и двух половых хромосом. Половая палочковидная хромосома, присутствующая у самки в двойном числе, а у самца в единичном, называется X-хромосомой; вторая половая (двуплечая) хромосома самца (отсутствующая у самки) — Y-хромосомой.

Каким же образом рассмотренные половые различия в хромосомных комплексах самцов и самок поддерживаются в процессе размножения? Для ответа на этот вопрос необходимо выяснить поведение хромосом в мейозе и при оплодотворении. Сущность этого процесса представлена на рисунке 111. При созревании половых клеток у самки каждая яйцеклетка в результате мейо-

XX X
XX X
XX X

за по
в том
образу
тозонд
дятся
зом, X
к прот
личест
сут 3
хромос
Яйцек
хромос
вьется
низма
хромос
У
же, чт
ка — A
мужчи
две X
(рис.
зонды
У
комых
самца
Y- у н
мужск
нера д
те пол
гая по
с X-хр
и из т
оплодо

рис. 112.



Хромосомный комплекс мужчины (справа) и женщины (слева)
у мужчин видны X- и Y-хромосомы, у женщины — две X-хромосомы.

за получает гаплоидный комплект из четырех хромосом, в том числе по одной X-хромосоме. При мейозе у самца образуются сперматозоиды двух сортов. Во всех сперматозоидах имеется по 3 аутосома. Половые хромосомы расходятся к противоположным и двум — веретенам. Таким образом, X-хромосома отходит к одному полюсу, а Y-хромосома — к противоположному. Из-за этого у самцов в равных количествах образуются сперматозоиды двух сортов. Одни несут 3 аутосомы и X-хромосому, другие — 3 аутосомы и Y-хромосому. При оплодотворении равновероятны 2 комбинации. Яйцеклетка может быть оплодотворена спермием с X- или Y-хромосомой. В первом случае из оплодотворенного яйца развивается самка, во втором — самец. Таким образом, пол организма определяется в момент оплодотворения и зависит от хромосомного комплекса зиготы.

У человека хромосомный механизм определения пола тот же, что и у дрозофилы. Диплоидное число хромосом человека — 46. В это число входят 22 пары аутосом (одинаковые у мужчин и женщин) и 2 половые хромосомы. У женщины это две X-хромосомы, у мужчины — одна X- и одна Y-хромосома (рис. 112). Соответственно у мужчины образуются сперматозоиды двух сортов с X- и Y-хромосомами.

У некоторых раздельнополых организмов (например, насекомых) Y-хромосома вообще отсутствует. В этих случаях у самца оказывается на одну хромосому меньше (вместе X- и Y- у него имеется одна X-хромосома). Тогда при образовании мужских гамет в процессе мейоза X-хромосома не имеет партнера для конъюгации и отходит в одну из клеток. В результате половина всех сперматозоидов имеет X-хромосому, а другая половина лишена ее. При оплодотворении яйца спермием с X-хромосомой получается комплекс с двумя X-хромосомами, с X-хромосомой получается самка. Если яйцеклетка будет и из такого яйца развивается самка. Если яйцеклетка будет оплодотворена спермием без X-хромосомы, то разовьется орга-

Рис. 113.



Схема наследования гемофилии.

низм с одной X-хромосомой (полученной через яйцеклетку от самки), который будет самцом.

Во всех рассмотренных выше примерах развиваются спермии двух категорий: либо с X- и Y-хромосомами (дрозофила, человек), либо половина спермиев несет X-хромосому, а другая совсем лишена половой хромосомы. Яйцеклетки же в отношении половых хромосом все одинаковы. Во всех этих случаях мы имеем мужскую гетерогаметность (разногаметность). Женский же пол гомогаметен (равногаметен). Наряду с этим в природе встречается и другой тип определения пола, характеризующийся женской гетерогаметностью. Здесь имеют место отношения как раз обратные только что рассмотренным. Разные половые хромосомы или только одна X-хромосома свойственны женскому полу. Мужской пол обладает парой одинаковых X-хромосом. Очевидно, что в этих случаях будет иметь место женская гетерогаметность. После мейоза образуются яйцевые клетки двух сортов, тогда как в отношении хромосомного комплекса все спермии одинаковы (все несут одну X-хромосому). Следовательно, пол зародыша будет определяться тем, какое яйцо (с X- или Y-хромосомой) будет оплодотворено.

Женская гетерогаметность имеет место у некоторых насекомых, например у бабочек. Среди позвоночных животных она характерна для птиц и пресмыкающихся.

Сцепленная с полом наследственность. В рассмотренных выше различных примерах хода расщепления мы не учитывали, от кого гибрид получает тот или иной ген — от самца или от самки. Никаких различий в этом отношении не наблюдается. Это вполне понятно, ибо гаметы, как мужские, так и женские, несут гаплоидные комплексы хромосом, которые, объединяясь при оплодотворении, дают диплоидный комплекс зиготы. Сказанное вполне справедливо в отношении аутосом. В отношении же половых хромосом дело, как мы только что видели, обстоит иначе. Гетерогаметный пол (у человека, например, мужской пол) получает X-хромосому только от гомога-

метного
все муж
получают
отношени
шествуют
аутосома
X-хромос
гемофили
Болеют
наследст
являются
X-хромос
является
ливающей
передает
сома, не
ма прису
минирую
Все эти
Вероятно
произойт
гемофили
ленный
тонизм
Не
посты, у
гемофили

1.
си
ни
Ес
по
зу
ст
бу
от

метного пола, и она присутствует у него в единственном числе. Например, все мужчины имеют только материнскую X-хромосому, тогда как женщины получают по одной X-хромосоме и от отца и от матери. Очевидно, что в отношении генов, локализуемых в X-хромосомах, наследование будет осуществляться несколько иначе, чем в отношении генов, локализованных в аутосомах. Рассмотрим пример, поясняющий особенности наследования через X-хромосому. Человеку свойственно тяжелое наследственное заболевание — гемофилия, одним из проявлений которой является несвертываемость крови. Болеют гемофилией только мужчины. Гемофилия возникла как рецессивное наследственное изменение в X-хромосоме. Обычно носителями гемофилии являются внешне совершенно здоровые (по фенотипу) женщины, одна из X-хромосом которых несет ген гемофилии. Однако фенотипически он не проявляется, так как подавляется аллельным ему доминантным геном, обуславливающим нормальную свертываемость крови. Такая женщина-носительница передает гемофилию половине своих сыновей — тем, кому попадает X-хромосома, несущая рецессивный ген гемофилии. Так как у мужчины X-хромосома присутствует в единственном числе у доминантного аллельного гена, доминирующего над геном гемофилии, гемофилия проявляется фенотипически. Все эти отношения можно легко понять, разобравшись в схеме (рис. 113). Вероятность заболевания гемофилией женщины ничтожно мала. Это может произойти в случае брака гетерозиготной по гемофилии женщины с больным гемофилией мужчиной. Можно говорить, что гемофилия — признак, сцепленный с полом. По такой же точно схеме у человека наследуется и дальтонизм (неспособность различать красный цвет).

Не вдаваясь в разбор других случаев сцепленной с полом наследственности, укажем, что таких признаков известно довольно много у домашних животных и птиц.

- ? 1. У плодовой мушки дрозофилы белоглазость определяется рецессивным геном, локализованным в X-хромосоме. Как пойдет расщепление в F_1 , если скрестить белоглазую самку с красноглазым самцом?
- ▷ Если скрестить между собой гибриды первого поколения? 2. Как пойдет наследование цвета глаз в F_1 и F_2 , если скрестить красноглазую гомозиготную самку дрозофилы с белоглазым самцом? 3. Отец страдает гемофилией. Мать здорова. Сын — гемофилик. Правильно ли будет сказать в данном случае, что сын унаследовал гемофилию от отца?

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ

Развитие фенотипа организма определяется взаимодействием его наследственной основы — генотипа с условиями внешней среды. При одном и том же генотипе, но при разных условиях развития признаки организма могут существенно различаться.

58. Модификационная изменчивость

Различные признаки организма неодинаково реагируют на изменение внешних условий. Одни из них очень пластичны и изменчивы, другие менее изменчивы, наконец, третьи лишь в очень малой степени могут быть изменены условиями среды. У рогатого скота удои во многом зависят от кормления и ухода. Хорошо известно, что удои можно значительно повысить подбором нужных количеств кормов и т. п. От условий кормления и содержания в меньшей степени, чем количество молока, зависит его жирномолочность. Процент жира в молоке — довольно постоянное свойство породы, хотя изменением пищевого рациона его тоже удается несколько изменить. Гораздо более постоянным признаком является масть. При самых различных условиях она почти не изменяется. Не следует, однако, думать, что окраска шерсти совсем не зависит от условий развития. У некоторых млекопитающих на окраску шерсти влияет температура окружающей среды. Например, порода горностаевых кроликов характеризуется тем, что при обычных условиях большая часть шерсти кролика белая, черная шерсть развивается лишь на ушах, лапах и хвосте. Если выбрить или выщипать шерсть на спине, то при положительных температурах опять вырастает белая шерсть. Но если кролика держать при низкой температуре (около 0°), то вместо белой вырастет черная шерсть.

Можно сказать, что наследственна в данном примере способность развивать белую шерсть на спине при высоких температурах и черную — при низких.

Норма реакции. У организмов проявление действия генов и генотипа в целом зависит от условий среды. Эта форма изменчивости, не связанная с изменением генотипа, носит название модификационной. Пределы модификационной изменчивости для разных признаков и при разных условиях, как это показано на рассмотренных примерах, могут быть очень различными. Пределы модификационной изменчивости признака называют его нормой реакции. Одни признаки (например, молочность) обладают очень широкой нормой реакции, другие (окраска шерсти) — гораздо более узкой.

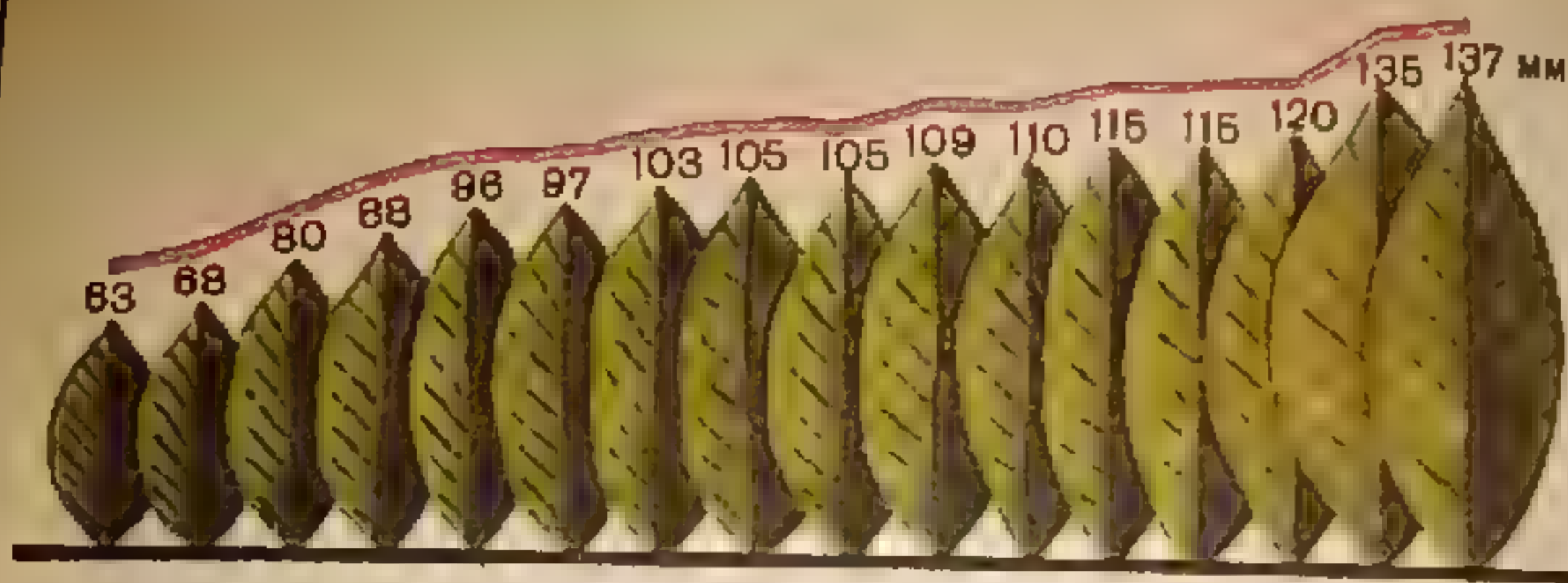
На основе только что рассмотренных фактов мы можем углубить представление о сущности явления наследственности. Наследуется не признак, как таковой, а способность организма (его генотипа) в результате взаимодействия с условиями развития давать определенный фенотип. Не существует, например, наследственного признака какой-либо породы рогатого скота давать 4000 л молока в год. Этот признак выявляется лишь при определенном режиме кормления и содержания.

Широкая норма реакции (широкая приспособляемость) в природных условиях может иметь важное значение для сохранения и процветания вида. Однако отклонения, вызванные внешними условиями, не изменяют генотипа, они лежат в пределах нормы его реакции.

Управление доминированием. Доминантный и рецессивный признаки определяются прежде всего особенностями гена и его влиянием на развитие признака. Поскольку, однако, фенотип всегда зависит от двух начал — генотипа и условий развития, то можно ожидать, что, меняя условия развития, можно воздействовать на характер доминирования признака у гибридов. Наиболее полно вопрос о возможности управления доминированием и направлением индивидуального развития организма был разработан на плодово-ягодных растениях И. В. Мичуриным. Мичурин установил важную закономерность доминирования признака у гибридов. На ряде примеров по гибридизации плодовых деревьев он показал, что у гибридов преимущественно доминируют те признаки, которые в окружающей среде встречают наиболее благоприятные условия для своего развития. Проводя, например, многочисленные скрещивания западноевропейских и американских сортов плодовых деревьев (из стран с мягким климатом) с местными сортами из Тамбовской области (с суровым континентальным климатом), Мичурин выращивал гибриды не в оранжереях, а в условиях открытого грунта. В этих условиях проявлялось доминирование признаков высокой зимостойкости, свойственной местным сортам.

Статистические закономерности модификационной изменчивости. В течение всей жизни, от момента оплодотворения и до самой смерти, организмы подвергаются действию самых разнообразных условий среды. Нельзя представить себе двух растений одного вида, произрастающих, например, на лугу или в лесу, условия жизни которых были бы совершенно одинаковы. Поскольку эти условия никогда не бывают совершенно сходными, фенотипы разных особей тоже не вполне тождественны. Если мы измерим длину и ширину листьев, взятых с одного дерева, то увидим, что размеры их варьируют в довольно широких пределах (рис. 114). Эта изменчивость — результат разных условий развития листьев на ветвях дерева; генотип их одинаков. Если некоторое количество листьев расположить в порядке нарастания или убывания признака (например, длины), как это изображено на рисунке 114, то получится ряд изменчиво-

Рис. 114.



Вариационный ряд листьев лавровишни.

сти данного признака, который носит название *вариационного ряда*. Этот ряд складывается, как мы видим, из отдельных вариантов.

Как часто встречаются отдельные члены вариационного ряда? Если мы подсчитаем число отдельных вариантов в вариационном ряду, то увидим, что частота встречаемости их неодинакова. Чаще всего будут встречаться средние члены вариационного ряда, а к обоим концам ряда частота встречаемости будет снижаться.

Рассмотрим это на примере изменчивости числа колосков в колосе пшеницы. Подсчитывая число колосков в разных колосьях, устанавливаем, что это число варьирует от 14 до 20. Возьмем не выбирая подряд 100 колосьев и определим частоту встречаемости разных вариантов. Мы увидим, что чаще всего встречаются колосья со средним числом колосков (16—18), реже — с большим или меньшим числом их. Вот результат одного из таких подсчетов:

число колосков в колосе	14	15	16	17	18	19	20
количество колосьев	2	7	22	32	24	8	5

Верхний ряд цифр — выписанные в ряд варианты от наименьшей к наибольшей. Нижний ряд — частота встречаемости каждой варианты. Если сложить ряд нижних цифр, мы получим 100, что и соответствует числу отдельных наблюдений. Распределение вариантов в вариационном ряду можно выразить наглядно на графике, который построим следующим образом. По горизонтали (на оси абсцисс) отложим на одинаковых расстояниях отдельные варианты в нарастающем порядке (рис. 115). На оси ординат нанесем числа, соответствующие частоте встречаемости каждой варианты в произвольно выбранном масштабе. На горизонтальной оси восстановим перпендикуляры до уровня, соответствующего частоте встречаемости каждой варианты. Точки пересечения перпендикуляров с линиями, соответствующими частоте встречаемости вариантов, соединим прямыми.

ми. П
выраж
ла ко
цы. Р
криво
ствует
частот
фичес
вости
как Р
частот
ных
риаци
Ка
причи
предел
онном
внешн
жизни
кажд
факто
нельзя
совер
физич
соседн
все эт
развит
лее вы
но, что
пример
с мно
залась
услови
вает в
ют да
нотип
ного Р
тем ме
роче б
ды, те
зависи
дают
мой ре
Что
нака,
гих осс
вариаци
ся его
метиче
призна

ми. Получим кривую, которая выражает изменчивость числа колосков в колосе пшеницы. Наиболее высокая точка кривой изменчивости соответствует варианту с наибольшей частотой встречаемости. Графическое выражение изменчивости признака, отражающее как размах вариаций, так и частоту встречаемости отдельных вариантов, называют вариационной кривой.

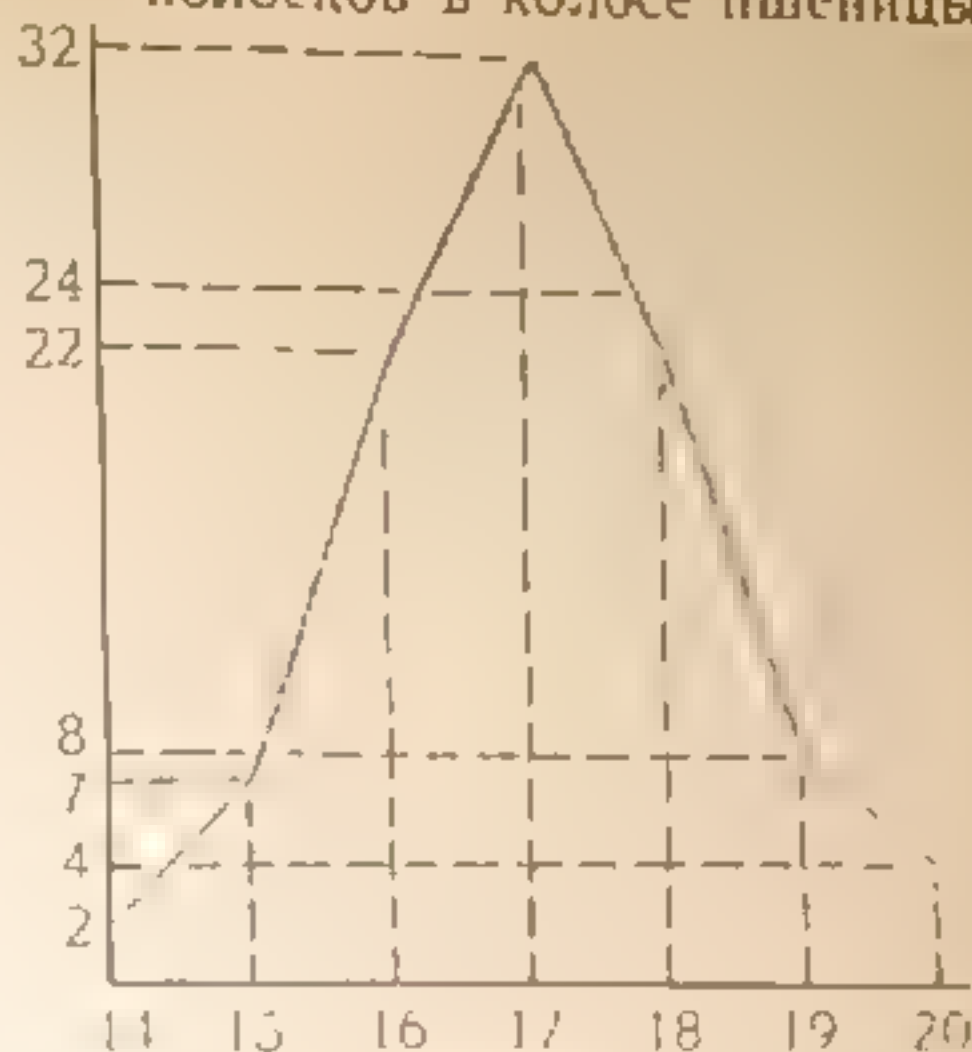
Какими же биологическими причинами вызвано такое распределение вариантов в вариационном ряду? Причина этого —

внешняя среда и воздействие ее на организм. С самого начала жизни, в течение всего периода развития и до самой смерти каждый организм подвергается действию самых различных факторов среды. Среди семян пшеницы, посеянных на поле, нельзя найти два семени, развитие которых протекало бы в совершенно одинаковых условиях. Глубина заделки в почву, физические свойства почвы, взаимодействие и конкуренция с соседними растениями, увлажнение, освещенность и т. п. — все это варьирует в различных направлениях и отражается на развитии фенотипа. Для того чтобы получить крайнее (наиболее выраженное или наиболее слабое) развитие признака, нужно, чтобы все эти многочисленные факторы среды действовали примерно в одном направлении. Чтобы получить большой колос с многими колосками, нужно, чтобы вся сумма факторов оказалась наиболее благоприятной из всех возможных сочетаний условий среды. На самом деле большинство растений испытывает воздействия различного характера. Одни благоприятствуют развитию признака, другие задерживают его. При этом фенотип их оказывается где-то среди средних вариантов вариационного ряда. Чем больше стандартизованы условия развития, тем меньше выражена модификационная изменчивость, тем короче будет вариационный ряд. Чем разнообразнее условия среды, тем шире модификационная изменчивость. Размах вариаций зависит и от генотипа. Признаки с широкой нормой реакции дают широкий размах изменчивости, а признаки с узкой нормой реакции — незначительный размах.

Чтобы дать объективную характеристику изменчивого признака, недостаточно ограничиться изучением одной или немногих особей. Нужно установить размах изменчивости и построить вариационную кривую. Выражением развития признака является его средняя величина. Она вычисляется как средняя арифметическая всего вариационного ряда. Численное выражение признака для каждой варианты умножают на число вариантов

Рис. 115.

Вариационная кривая числа колосков в колосе пшеницы.



Все эти произведения складывают и затем делят на общее число вариантов. Это может быть выражено следующей формулой: $M = \frac{\sum (v \cdot p)}{n}$, где M — средняя величина, v — варианты, p — частота встречаемости варианты, \sum — знак суммирования и n — общее число вариантов вариационного ряда. Вычислим по этой формуле среднюю величину для приведенного выше вариационного ряда числа колосков пшеницы. Умножим каждую варианту на частоту ее встречаемости. Это составит: $14 \times 2 = 28$; $15 \times 7 = 105$; $16 \times 22 = 352$; $17 \times 32 = 544$; $18 \times 24 = 432$; $19 \times 8 = 152$; $20 \times 5 = 100$. Далее суммируем все эти произведения, что дает в данном случае 1713. Разделив эту сумму на общее число вариантов ряда, которое равняется 100, получим среднюю величину, равную 17,13.

59. Мутационная изменчивость

Разнообразные формы и проявления модификационной изменчивости не затрагивают генотипа организма. Наряду с модификациями существует другая форма изменчивости, меняющая генотип. Эту форму изменчивости называют генотипической или мутационной, а отдельные изменения — мутациями.

Существование наследственных изменений было известно Дарвину. Вся его теория эволюции вытекает из учения о естественном отборе наследственных изменений. Наследственная изменчивость — необходимая предпосылка естественного и искусственного отбора. Однако во времена Дарвина еще отсутствовали опытные данные по наследственности и законы наследования не были известны. Это не давало возможности строго различать разные формы изменчивости в зависимости от наследования.

Понятие мутаций было введено в науку голландским ботаником де Фризом. У растения ослинник (энотера) он наблюдал



Рис. 116.

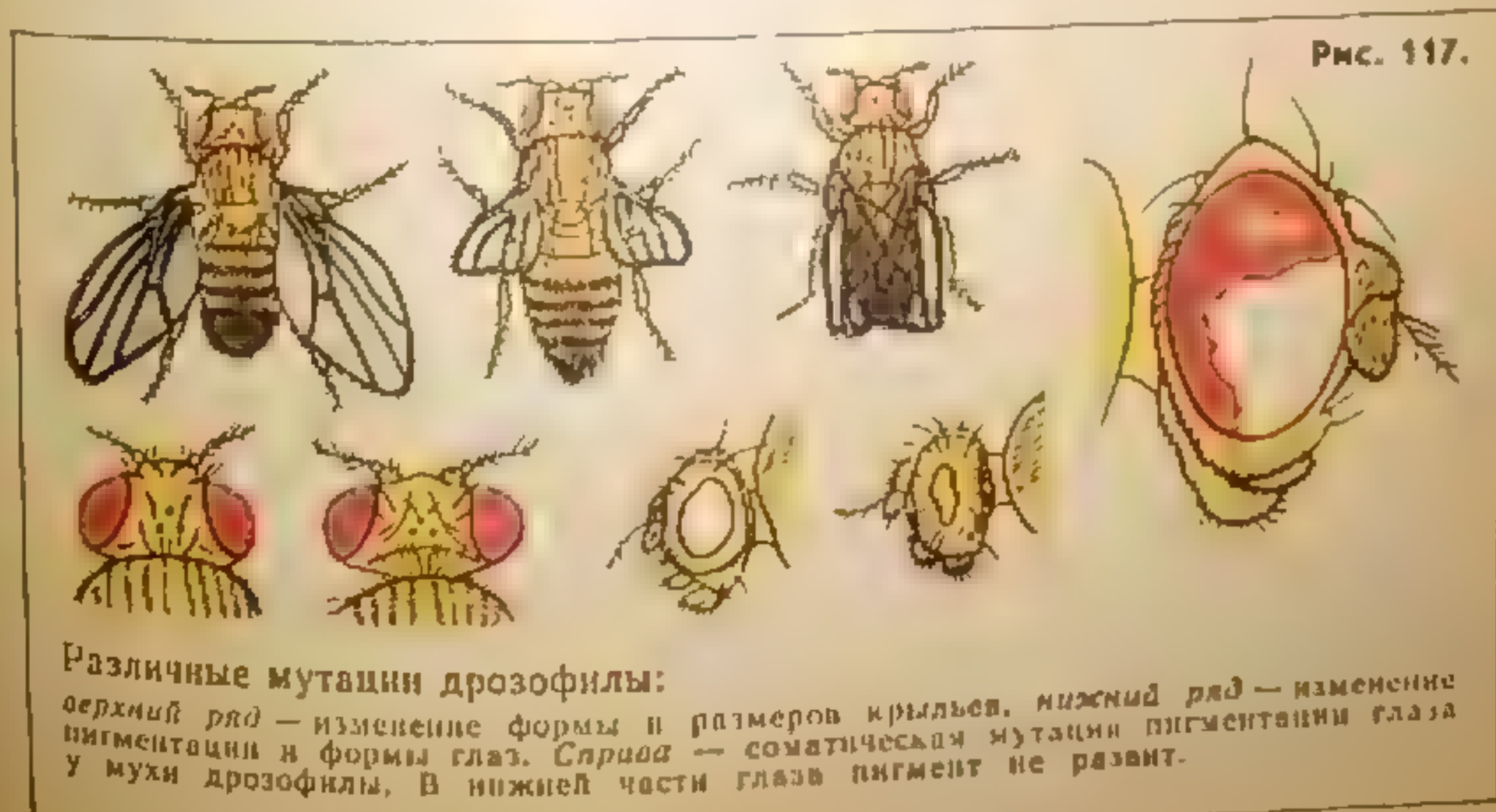
Мутации
осли́нника (энотеры):

слева — нормальная,
справа — карликовая
форма.

появление резких скачкообразных отклонений от типичной формы растений, причем эти отклонения оказались наследственными (рис. 116). Дальнейшие исследования на различных объектах — растениях, животных, микроорганизмах — показали, что явление наследственной (мутационной) изменчивости свойственно всем организмам. Мутации затрагивают разнообразные стороны строения и функции организма. Например, у дрозофилы (рис. 117) известны мутационные изменения формы крыльев (вплоть до полного их исчезновения), окраски тела, развития щетинок на теле, формы глаз, их окраски (красные, желтые, белые, вишневого цвета и т. п.), а также многих физиологических признаков (продолжительность жизни, плодовитость, стойкость к разным повреждающим воздействиям и т. п.). Первоначальные представления де Фриза о том, что мутации всегда крупные наследственные изменения, дальнейшими исследованиями не подтвердились. Наряду с резкими отклонениями гораздо чаще встречаются небольшие мутации, лишь немногим отличающиеся от исходных форм. Тем не менее указанный еще де Фризом признак мутаций — их скачкообразный характер и наследственность — остается в силе. Мутации совершаются в различных направлениях, и обычно они не являются приспособительными, порождая для организма изменения.

Существуют и такие наследственные изменения, которые в гомозиготном состоянии вызывают гибель (такие мутации называются летальными).

Генные мутации. Различают несколько типов мутаций по характеру изменений хромосомного аппарата. Наиболее распространенными являются мутации, не связанные с видимыми в микроскоп изменениями строения хромосом. Такие мутации представляют собой качественные изменения отдельных генов и носят название *генных мутаций*. На основании исследований, проведенных главным образом на микроорганизмах за последнее время, установлено, что такие мутации связаны с преобра-



зованием химической структуры ДНК, входящей в состав хромосом. Последовательность оснований определяет состав образующейся на ДНК молекулы РНК, а она в свою очередь обуславливает последовательность аминокислот при синтезе белковой молекулы (стр. 171). Химическая основа генных мутаций заключается в изменении расположения нуклеотидов в цепочке ДНК.

Хромосомные мутации. Наряду с генными известен ряд других мутаций, связанных с видимыми преобразованиями хромосом, которые доступны непосредственному микроскопическому изучению. К числу таких изменений относится, например, переход части одной хромосомы на другую, ей не гомологичную, поворот участка внутри хромосомы на 180° и ряд других структурных изменений отдельных хромосом.

Особую группу мутаций представляют собой изменения числа хромосом. Эти мутации сводятся к появлению лишних или утере некоторых хромосом. Такого рода изменения в хромосомном составе происходят при нарушении в силу каких-либо причин нормального хода мейоза, когда вместо нормального распределения хромосом между полюсами ахроматинного веретена и затем дочерними клетками обе гомологичные хромосомы отходят к одному полюсу. Обычно такого рода нарушения оказываются неблагоприятными, снижающими жизнеспособность.

Особый тип наследственных изменений представляет собой явление *полиплоидии*, которое выражается в кратном увеличении числа хромосом. Возникновение полиплоидов обычно связано с нарушением процессов митоза или мейоза. Эти нарушения сводятся к тому, что хромосомы проделывают нормальный митотический цикл, а веретено деления, служащее для «растаскивания» хромосом к противоположным полюсам, не функционирует. В результате хромосомы не расходятся к полюсам и не образуют дочерних ядер, а остаются в том же ядре. Если этот процесс имеет место в соматической клетке с диплоидным набором хромосом, то сразу возникает клетка с удвоенным диплоидным набором (такие клетки называются тетраплоидными). Они имеют, следовательно, вместо двух гаплоидных наборов четыре ($4n$). Если это наблюдается при мейозе, то конъюгирующие гомологичные хромосомы не расходятся к противоположным полюсам и возникают диплоидные гаметы. Если такая гамета при оплодотворении сольется с нормальной гаплоидной, то возникает триплоидная зигота (с тройным набором хромосом — $3n$). Если же обе гаметы окажутся диплоидными, то возникает тетраплоидная зигота.

Полиплоидные виды довольно часто наблюдаются у растений и очень редко встречаются у животных. Полиплоидные мутации у растений по сравнению с диплоидами часто характеризуются более мощным ростом, большим размером и весом семян и плодов и т. п. В генетико-селекционной работе по созданию высокопродуктивных сортов растений явление полиплоидии широко используется на практике.

В настоящее время разработаны методы, позволяющие получать полиплоиды экспериментально, воздействуя на делящуюся клетку некоторыми ядами (например, колхицином), разрушающими веретено, но не препятствующими удвоению хромосом.

Мы видим, таким образом, что мутации всегда связаны с изменениями в хромосомах. Если эти изменения происходят в половых клетках, то они проявляются в том поколении, которое развивается из половых клеток. Но изменения могут иметь место и в соматических клетках. Тогда они получают название соматических мутаций. Такие мутации приводят к изменению признака только части организма, развивающегося из измененных клеток. На рисунке 117 изображена соматическая мутация белоглазости, захватившая часть глаза дрозофилы.

У животных соматические мутации не передаются последующим поколениям, поскольку из соматических клеток новый организм не возникает. Другое дело у растений. При помощи отводков и прививок иногда удается сохранить возникшее изменение, и оно оказывается стойким, наследственным.

Частота и причины мутаций. Как часто происходят мутации и каковы причины их возникновения? Прежде чем ответить на этот вопрос, нужно иметь в виду, что учет возникающих мутаций представляет очень большие трудности. Большинство мутаций рецессивны. Они возникают в генах, локализованных в хромосомах половых клеток. Гамета, несущая вновь возникшую рецессивную мутацию, при оплодотворении обычно соединяется с гаметой, которая такой же мутации не несет. Поэтому вновь возникшая рецессивная мутация фенотипически не проявится. Однако в последующих поколениях она будет размножаться вместе с несущей ее хромосомой и распространяться среди особей данного вида. Лишь когда соединятся две гаметы, несущие одну и ту же рецессивную мутацию, она проявится фенотипически.

Исследования показали, что в природных условиях мутация каждого отдельно взятого гена происходит очень редко. На первый взгляд может возникнуть представление, что такая малая изменчивость гена не может дать достаточного материала наследственной изменчивости для естественного отбора. На самом деле это не так. У организма имеется несколько тысяч генов, так что общее число мутаций оказывается значительным. Для той же дрозофилы, например, высчитано, что около 5% ее гамет несут какую-нибудь мутацию. Прямые исследования распространения мутаций в природных популяциях дрозофилы, проведенные в разных географических зонах, показали, что они «насыщены» разнообразными мутациями, большинство которых, однако, в силу рецессивности не проявляется видимо. Значительная стойкость гена имеет большое биологическое значение. Действительно, если бы гены легко и часто изменялись, то существование видов стало бы невозможным, ибо в каждом поколении организмы превращались бы в нечто совершенно

новое, не похожее на родителей. Относительная стойкость видов — важное условие приспособления организма к окружающей среде.

Способность к мутированию — одно из основных свойств гена. Разумеется, каждая отдельная мутация вызывается какой-то причиной. Однако в большинстве случаев эти причины остаются нам неизвестными. Мутации связаны с изменениями во внешней среде. Это убедительно доказывается тем, что различными внешними факторами удается резко повысить число возникающих мутаций. Особенно эффективно действующими факторами экспериментального получения мутаций оказываются такие, которые влияют на нуклеиновые кислоты. Это вполне понятно, так как материальной основой генов служит ДНК.

Впервые в опыте резкое повышение числа возникающих наследственных изменений было получено действием лучей Рентгена. Под влиянием рентгенизации число получаемых мутаций удалось повысить в 150 раз и даже более. С тех пор экспериментальное получение мутаций было осуществлено на самых различных организмах — от бактерий и вирусов до млекопитающих и цветковых растений. Кроме лучей Рентгена и других форм ионизирующей радиации, мутации могут быть вызваны самыми различными химическими и физическими воздействиями: температурой, изменением газового режима, влажности и т. п. Любые изменения, затрагивающие процессы обмена веществ, оказывают свое влияние и на мутационный процесс. Результаты исследований по экспериментальному получению мутаций показали, что в основном дело сводится к увеличению их частоты. Экспериментально вызываемые наследственные отклонения совершаются в различных направлениях, так же как и естественный процесс мутационной изменчивости. Лишь в самое последнее время намечаются некоторые пути воздействия на направление мутаций. Эти новые возможности базируются на глубоком проникновении в механизм процесса синтеза нуклеиновых кислот.

Экспериментальное получение мутаций имеет и большое практическое значение, так как резко повышает наследственную изменчивость, давая, таким образом, материал для отбора.

Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости. Важная закономерность была установлена Н. И. Вавиловым. Она известна под именем закона гомологических рядов наследственной изменчивости. Сущность этого закона сводится к тому, что виды и роды, генетически близкие (т. е. связанные друг с другом единством происхождения), характеризуются сходными рядами наследственной изменчивости. Зная наследственные изменения у одного вида, можно предвидеть нахождение сходных изменений у родственных видов и родов. Несколько примеров гомологических рядов изменчивости в семействе злаков даны в прилагаемой таблице, в которой показано наличие или отсутствие различных признаков в пределах разных родов этого семейства.

Гомологические

Соцветия

Зерно

Биологические
признаки

Примечание

У ж
кономер
ские ря
Закон
значени

?

1.

бл

пар

244

раб

под

чис

дн

шир

гич

идн

пло

1 Таб
лов в нас

Гомологические ряды наследственной изменчивости в семействе злаковых
(по Н. И. Вавилову)¹

Наследственно варьирующие признаки			Рожь	Пшеница	Ячмень	Овес	Просо	Сорго	Кукуруза	Рис	Пырей
Соцветия	Пленчатость	Пленчатое (плотно заключено в колосковых чешуях)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Голое (легко освобождается от чешуй)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Остистость	Остистое	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Безостое	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Короткоостистое	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Зерно	Окраска	Белая	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Красная	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Зеленая (серо-зеленая)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Черная (темно-серая)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Фиолетовая	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Форма	Округлая	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Удлиненная	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Консистенция	Стекловидная	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Мучнистая	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Биологические признаки	Образ жизни	Озимый	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Яровой	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Полуозимый	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Скороспелость	Поздняя	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Ранняя	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание Знак + означает наличие признака у соответствующих форм, обладающих указанным признаком

У животных мы также встречаемся с проявлением этой закономерности. Например, у грызунов существуют гомологические ряды по окраске шерсти.

Закон гомологических рядов имеет важное практическое значение, он облегчает поиски наследственных уклонений.

1. Соберите (без выбора) 100 листьев желтой акации или рябины. Постройте вариационный ряд и вариационную кривую числа пар листочков в сложном листе. Пользуясь приведенной на странице 244 формулой, вычислите среднюю величину. Проведите такую же работу для числа краевых цветков в соцветии поповника, ромашки или подсолнечника. 2. В чем различия между модификационной и мутационной изменчивостью? Приведите примеры той и другой. 3. Приведите примеры признаков различных животных и растений, обладающих широкой и узкой нормой реакции. 4. В чем сущность закона гомологических рядов наследственной изменчивости? 5. Что такое полиплоидия? Какие вы знаете методы экспериментального получения полиплоидов?

¹ Таблица взята из работы Н. И. Вавилова «Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости», 1935 г.

60. Некоторые общие понятия генетики

Природа гена и генотипа. Ознакомившись с основными законами генетики, мы можем теперь подвести некоторые итоги и углубить наше представление о природе гена и генотипа организмов. Наследственная основа (генотип) организма представляет собой сложную систему, состоящую из отдельных относительно независимых элементов — генов. Реальность гена доказывается двумя основными группами фактов: 1) относительно независимым комбинированием при расщеплении, 2) способностью изменяться — мутировать. К числу основных свойств гена относится и его способность к удвоению, которое происходит при делении клетки (удвоении хромосом). Гены обладают значительной устойчивостью, что и определяет собой относительное постоянство вида. Между генами осуществляется тесное взаимодействие, в результате чего генотип в целом не может рассматриваться как простая механическая сумма генов, а представляет собой сложную, сложившуюся в процессе эволюции организмов систему.

Материальной основой генов и генотипа служат хромосомы, в состав которых входит ДНК и белки. Биохимической (молекулярной) основой перечисленных выше свойств гена является способность ДНК к самоудвоению (редупликации). В основе действия гена в процессе развития организма лежит его способность через посредство РНК определять синтез белков. В молекуле ДНК как бы записана информация, определяющая состав белковых молекул. Особенно замечательно, что этот механизм является общим на всех ступенях эволюции органического мира — от вирусов и бактерий до млекопитающих и цветковых растений. Это служит указанием на то, что биологическая роль нуклеиновых кислот определилась на очень ранних этапах эволюции жизни, возможно, в самый момент перехода от неживого к живому.

Несмотря на большие успехи в развитии генетики, в особенности за последние десять лет, еще многие вопросы не решены наукой. Так, еще не ясен вопрос, каким образом гены действуют в процессе развития организма. Дело в том, что в каждой клетке имеется диплоидный набор хромосом, а следовательно, и весь набор генов данного вида. Между тем очевидно, что в разных клетках и тканях функционируют лишь немногие гены, а именно те, которые определяют свойства данной клетки, ткани, органа. Каков же механизм, обеспечивающий активность только определенных генов? Эта проблема сейчас усиленно разрабатывается в науке. Имеются уже некоторые данные, указывающие, что в регуляции действия генов ведущая роль принадлежит белкам, входящим в состав хромосом наряду с ДНК.

Цитоплазматическая наследственность. Все данные современной генетики утверждают ведущую роль хромосом в наследственности. Хромосомная теория основывается на огромном количестве фактов, со многими из которых мы познакомились

уже в
ких-ли
ли бы
ются.
плазма
пенну
Пр
у

жают
ное я
у цвет
лению
дущи
Через
в небо
наслед
хлороп
ная ил
рофил
тов, то
рая в
ленных
светлы
исключ
клетки
хлороп

В
указыв
ти, хар
теринс
плазма

61.

Раз
ется на
сти и е
отбора
следств
вало е
гивающ
щей в
лась зн
В с
что осн
ляют м
вичный
мутаци
торые

уже выше. Значит ли это, что в цитоплазме не существует каких-либо структур, которые наряду с хромосомами ядра играют бы роль в наследственной передаче? Такие структуры имеются. Это позволяет нам говорить наряду с ядерной и о цитоплазматической наследственности, играющей, однако, второстепенную, подчиненную роль.

Приведем примеры цитоплазматической наследственности.

У растений пластиды (в том числе и хлоропласты) размножаются путем деления. Эти органоиды, так же как и клеточное ядро, обладают способностью к самовоспроизведению. У цветковых растений пластиды передаются следующему поколению через яйцевые клетки, так что между пластидами последующих поколений имеется непосредственная преемственность. Через пыльцевую трубку передача пластид тоже возможна, но в небольшом количестве и не всегда. У ряда растений описаны наследственные изменения (мутации), касающиеся свойств хлоропластов. Одним из таких изменений является потеря (полная или частичная) хлоропластами способности к синтезу хлорофилла. Если это изменение затронет только часть хлоропластов, то получается характерная картина пестролистности, которая выражается в том, что отдельные части листа и других зеленых органов растения лишены хлорофилла и оказываются светлыми. Эта наследственная особенность передается почти исключительно по материнской линии (через цитоплазму яйцеклетки), что связано с непосредственной передачей измененных хлоропластов.

В настоящее время имеются и некоторые другие факты, указывающие на явление цитоплазматической наследственности, характерной чертой которой всегда служит передача по материнской линии. Это объясняется тем, что яйцо богато цитоплазмой, тогда как сперматозоид почти лишен ее.

61. Генетика и эволюционная теория

Разработанная Дарвином эволюционная теория основывается на трех основных факторах: изменчивости, наследственности и естественном отборе. Главное значение как материал для отбора имеет, по Дарвину, неопределенная, ненаправленная наследственная изменчивость. Во времена Дарвина не существовало еще ясного разграничения между изменчивостью, затрагивающей генотип, и модификационной изменчивостью, лежащей в границах нормы реакции. Генетика возникла и развивалась значительно позже — в XX в.

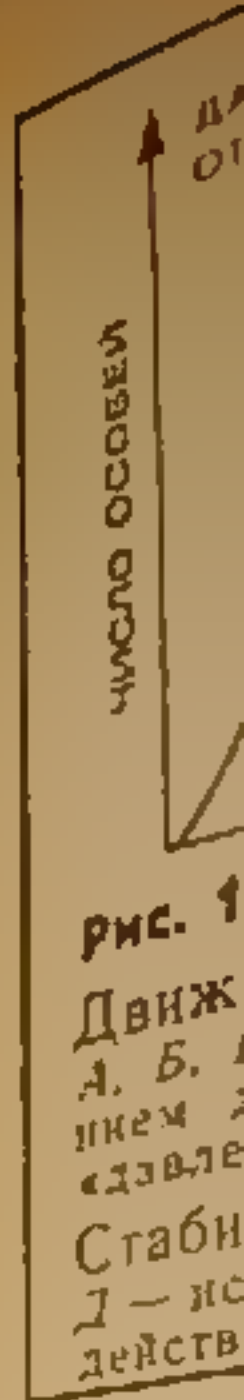
В свете современных научных данных можно утверждать, что основу дарвиновской неопределенной изменчивости составляют мутации. Их и следует рассматривать как основной первичный материал для эволюционного процесса. Особи, несущие мутационные изменения, скрещиваются с другими особями, которые их не имеют или же несут другие наследственные из-

менения. Получаются новые сочетания генов, новые генотипы. Эта изменчивость (мутации и комбинации в результате свободного скрещивания) и дает первичный материал для естественного отбора, ведущего к образованию новых разновидностей и видов.

Резерв наследственной изменчивости. Постоянно протекающий мутационный процесс и свободное скрещивание приводит к тому, что в пределах вида и отдельных его популяций накапливается большое количество внешне не проявляющихся наследственных изменений. Создание такого, по выражению академика И. И. Шмальгаузена, «резерва наследственной изменчивости» происходит потому, что подавляющее большинство возникающих мутаций рецессивны и фенотипически никак не проявляются. Хромосомы, несущие мутации, в результате удвоения постепенно распространяются среди популяции, в которой осуществляется свободное скрещивание (стр. 247). Постепенно происходит возрастание концентрации возникшей мутации, которая распространяется все более широко, не проявляясь, однако, фенотипически до тех пор, пока она остается гетерозиготной. По достижении достаточно высокой концентрации делается вероятным скрещивание особей, несущих рецессивные гены. При этом появятся гомозиготные особи, у которых мутация проявится фенотипически. В этих случаях мутации подпадают под контроль естественного отбора.

Генетические исследования природных популяций растений и животных показали, что при относительной фенотипической однородности они насыщены разнообразными рецессивными мутациями. Таким образом, каждый вид (стр. 248) и каждая его популяция с генетической точки зрения представляют собой довольно сложную гетерозиготную систему, находящуюся под непосредственным и постоянным контролем естественного отбора, что впервые было показано работами И. И. Шмальгаузена. При этом разные популяции одного вида, живущие в несходных условиях, будут различаться и по резерву наследственной изменчивости.

Формы естественного отбора. Знакомство с генетикой позволяет нам углубить и конкретизировать вопрос о разных формах естественного отбора, протекающего в природе. В разных условиях среды действие естественного отбора будет носить различный характер. Предположим, что создались условия, при которых некоторые возникающие наследственные отклонения полезны. В этом случае действие отбора (или, как часто говорят, «давление отбора») будет направлено в одну определенную сторону. Это приведет к постепенному изменению фенотипа, к смене нормы реакции в одном определенном направлении (рис. 118). Такая форма отбора носит название *движущего отбора*. Приведем пример. Близ промышленных центров в воздухе много копоти, дыма. Стволы берез приобретают грязно-коричневый оттенок. У живущей на березе бабочки — березовой пяденицы иногда появляются темноокрашенные мутации. В



обычны
ром, та
березы.
мом бер
нее зам
осущест
поедаю
рез отн
новидно
шом «д
характе
стера т
форму
отбора
соблени
пятипал
крыльях
Нар
роко ос
отбор.
широки
ницы о
благопр
к мень
ции, оп
кую по
зирующ
изменчи
органы
пропор
их насе
весьма
отбор «

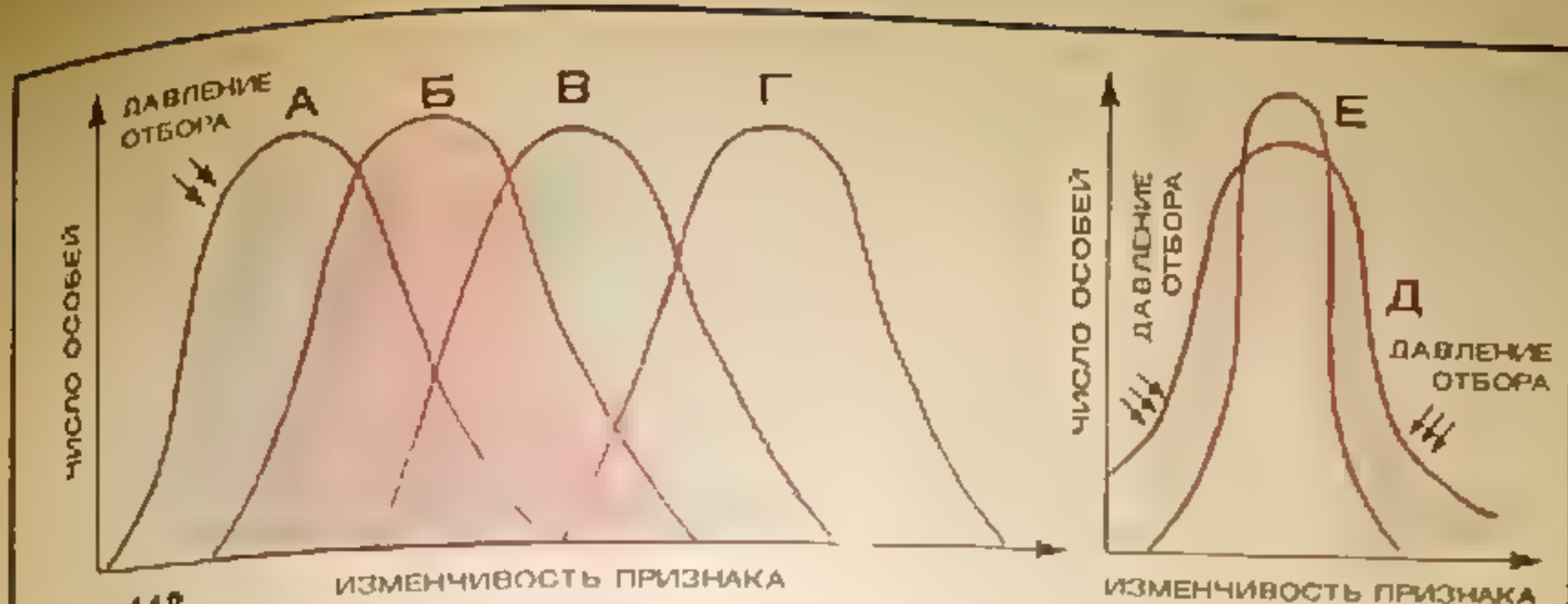


рис. 118.

Движущая форма естественного отбора.

А, Б, В, Г — последовательные изменения нормы реакции в популяции под влиянием движущей формы естественного отбора. Стрелками показано направление «давления отбора».

Стабилизирующая форма естественного отбора.

Д — исходная изменчивость признаков; Е — изменчивость признаков в результате действия стабилизирующего отбора.

обычных условиях сельской местности они отмирают отбором, так как делают бабочек заметными на фоне белой коры березы. Их поедают птицы. Иное дело — на загрязненной дымом березе. В этих условиях темные пяденицы становятся менее заметными и естественный отбор их сохраняет. Фактором, осуществляющим этот отбор преимущественно служат птицы, поедающие бабочек. При большой напряженности отбора через относительно короткий промежуток времени возникает разновидность, характеризующаяся темной окраской. При большом «давлении отбора» движущая форма его быстро изменяет характер популяции. Например, в окрестностях города Манчестера темная форма березовой пяденицы вытеснила светлую форму примерно за 20 лет. Движущая форма естественного отбора играет основную роль в эволюции, в развитии приспособлений. Так, например, протекала эволюция лошади — от пятипалой конечности к однопалой, а также образование бескрылых островных форм насекомых и т. п.

Наряду с движущим естественным отбором в природе широко осуществляется и другая его форма — стабилизирующий отбор. У видов, живущих в относительно постоянных условиях, широкий размах изменчивости, выводящий особи вида за границы оптимальной для данных условий нормы, может быть неблагоприятен. В таких условиях сохраняются мутации, ведущие к меньшей изменчивости данного признака, и отсекаются мутации, определяющие более широкую изменчивость (более широкую норму реакции, рис. 118). Вот пример действия стабилизирующего отбора. У опыляемых насекомыми растений малой изменчивостью характеризуются части цветка. Вегетативные органы их гораздо более изменчивы. Это зависит от того, что пропорции цветка тесно «пригнаны» к размерам опыляющих их насекомых, и широкая изменчивость здесь отразилась бы весьма неблагоприятно на ходе опыления. Стабилизирующий отбор «закрепил» пропорции и размеры частей цветка.

Действия движущей и стабилизирующей форм отбора в природе тесно связаны друг с другом. Движущий отбор преобразует виды в меняющихся условиях окружающей среды. Стабилизирующий отбор закрепляет полезные формы в относительно постоянных условиях среды.

Сказанное выше показывает, что генетический анализ популяций позволяет значительно углубить и уточнить наши знания о характере изменчивости организмов в природе и яснее представить себе механизм действия естественного отбора как основного фактора видообразования и эволюции.

- ? 1. Что является материальной основой гена? Объясните подробно, как вы понимаете выражение «наследственная информация записана в последовательности органических азотистых оснований молекулы ДНК».
- 2. Одинакова или различна наследственная информация, записанная в ДНК хромосом нервной и эпителиальной клеток одного и того же организма? Подробно аргументируйте ваш ответ. 3. Какая форма изменчивости дает исходный материал для естественного отбора в природе? Как вы понимаете выражение «резерв наследственной изменчивости»? 4. Что такое «стабилизирующий отбор»? При каких условиях он преимущественно осуществляется в природе?

СЕЛЕКЦИЯ РАСТЕНИЙ, ЖИВОТНЫХ И МИКРООРГАНИЗМОВ

Задача селекции состоит в создании новых и улучшении уже существующих сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов.

В своей хозяйственной деятельности человек с самых древних времен изменял окружающую его природу, приручал диких животных, возделывал растения, создавая полезные для себя породы и сорта. Однако научные основы этой стороны хозяйственной деятельности человека были раскрыты лишь Дарвином в его учении об изменчивости, наследственности и искусственном отборе.

62. Задачи современной селекции

Селекция в буквальном смысле этого слова означает отбор. Но в современном понимании селекция — это широкая комплексная наука, направленная в основном на повышение производительности сельскохозяйственного производства и базирующаяся не только на учении об отборе, но и на ряде других закономерностей биологии.

Выдающийся советский генетик и селекционер акад. Н. И. Вавилов, определяя содержание и задачи современной селекции, указывал, что для успешной работы по созданию сортов и пород следует изучать и учитывать: 1) исходное сортовое и видовое разнообразие растений и животных, являющихся объектом селекционной работы; 2) наследственную изменчивость (мутации); 3) роль среды в развитии и проявлении изучаемых признаков; 4) закономерности наследования при гибридизации; 5) формы искусственного отбора, ведущие к закреплению желательных признаков.

Что такое сорт или порода? Мы часто пользуемся этими понятиями, но не всегда ясно представляем себе их точный смысл и содержание.

Породой животных или сортом растений называют такую совокупность особей (популяцию), искусственно созданную человеком, которая характеризуется определенными наследственными особенностями, наследственно закрепленной продуктивностью, структурными (морфологическими) признаками.

Для каждой породы или сорта характерна определенная реакция на окружающую среду. Фенотип данной породы или сорта наиболее полно проявляется лишь при известных условиях содержания, кормления, агротехники. Для каждого сорта и породы необходим известный комплекс климатических усло-

вий, при которых выявляются их положительные качества. Поэтому породы и сорта, выведенные в одной стране, далеко не всегда пригодны для другой страны.

Из сказанного ясно, что не всякую возникшую в результате мутации при гибридизации полезную форму можно назвать сортом или породой. Для этого она должна обладать перечисленными выше свойствами. Выведение новых сортов и пород — важное государственное дело.

Во всех странах, в том числе и в Советском Союзе, существует обширная система научных и научно-практических учреждений: институтов, селекционных станций, племенных хозяйств, которые планомерно занимаются в общегосударственном масштабе этой сложной работой. Для проверки вновь создаваемых сортов культурных растений существует большая сеть сортоиспытательных участков (Госсортосеть), на которых всесторонне изучаются свойства вновь создаваемых сортов. В животноводстве аналогичную работу проводят специальные племенные хозяйства.

За годы существования Советской власти выведены сотни сортов хлебных злаков, бобовых, масличных, прядильных, овощных и других культурных растений. Только по одной пшенице Государственной комиссией по сортоиспытанию апробировано и районировано (указаны районы культивирования) свыше 300 сортов. Среди них можно указать, например, на замечательный сорт Безостая-1, выведенный акад. П. П. Лукьяненко.

Больших успехов достигли советские ученые в селекции подсолнечника — ценной пищевой культуры, снабжающей страну растительным маслом. Лучшие сорта подсолнечника лет 15—20 назад по масличности не превышали 32—33%. В настоящее время благодаря работам акад. В. С. Пустовойта и возглавляемого им коллектива средняя масличность семян повышена до 49—50%. В масштабах Советского Союза это дает тысячи тонн рафинированного масла.

Многочисленные примеры повышения хозяйственной продуктивности можно привести из области животноводства. В СССР имеется ряд высокопродуктивных пород рогатого скота: холмогорская, ярославская, серая украинская и др. В советское время трудами акад. М. Ф. Иванова создана высокопродуктивная порода украинских белых свиней, порода тонкорунных овец и многие другие.

1. Что такое селекция? Каково значение для развития селекции сыграла теория Дарвина и современная генетика? 2. Что такое сорт и порода? Разъясните на примерах. 3. Какие сорта пшеницы и ржи высеваются в вашей местности? 4. Составьте коллекцию (гербарий) основных сортов зерновых культур, возделываемых в вашей местности. 5. Какие породы рогатого скота разводятся в вашей местности?

63. Центры многообразия и происхождения культурных растений

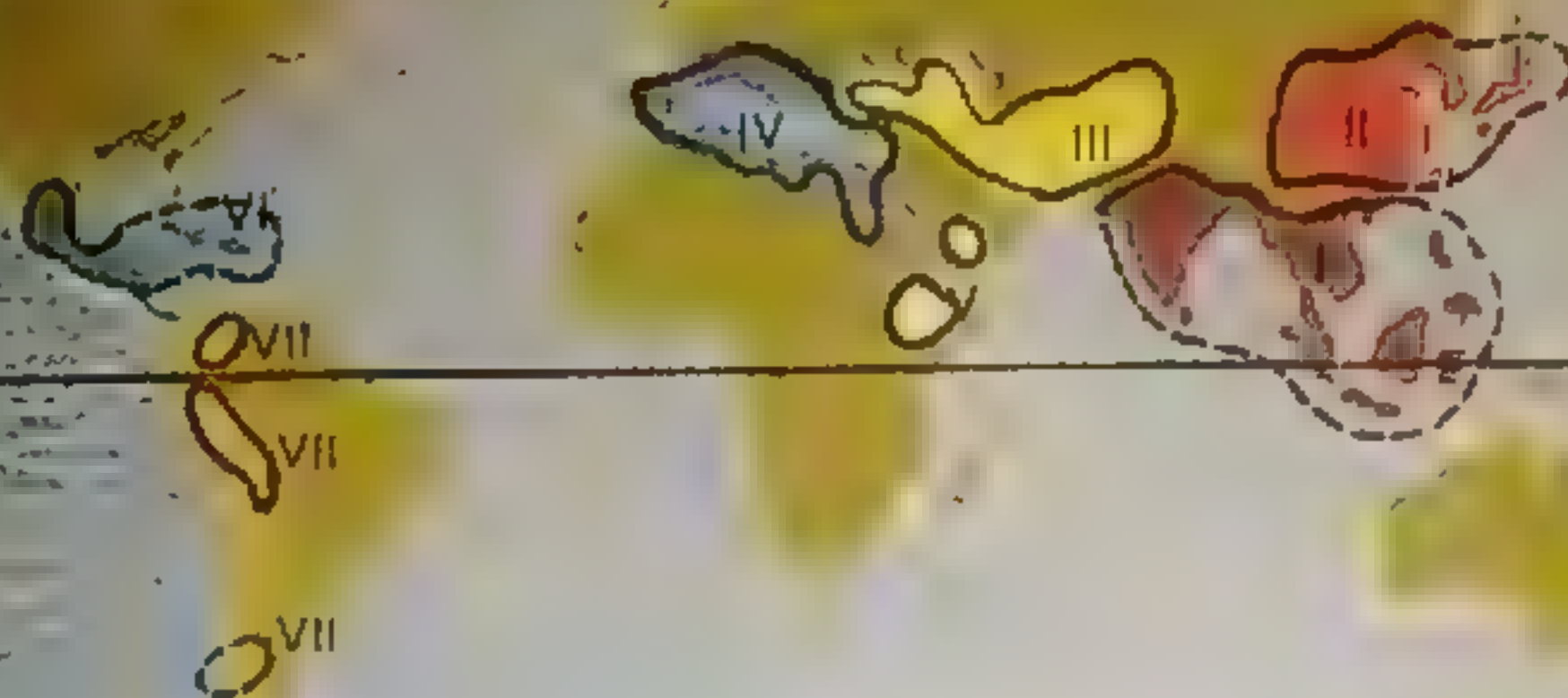
Чем разнообразнее исходный материал, используемый для селекции, тем больше возможности дает он для отбора и гибридизации. Н. И. Вавилов указывал, что одним из условий, способствующих созданию нового сорта, служит исходное сортовое и видовое разнообразие. Чем больше это разнообразие, тем эффективнее будут результаты селекции. Но где в природе искать это многообразие? Н. И. Вавилов с большим коллективом сотрудников в результате многочисленных экспедиций, протекавших на территории почти всего земного шара, изучил многообразие и географическое распространение культурных растений. Исследования были предприняты в 20-х и 30-х годах этого столетия Всесоюзным институтом растениеводства (ВИР), директором которого многие годы был Н. И. Вавилов. В этой огромного масштаба полевой работе участвовали и некоторые другие крупные научные коллективы, например Ботанический институт Академии наук СССР. Экспедициями были охвачены вся огромная территория Советского Союза и много зарубежных стран: Иран, Афганистан, страны Средиземноморья, Абиссиния, Центральная Азия, Япония, Северная, Центральная и Южная Америка и некоторые другие. Во время этих экспедиций было изучено около 1600 видов культурных растений. Экспедиции везли в Советский Союз тысячи образцов семян культурных растений. Они высевались в питомниках ВИРа, расположенных в разных географических зонах Советского Союза. Эти ценнейшие и уникальные коллекции служат материалом для селекционной работы.

В результате изучения всего этого колоссального материала Н. И. Вавилов установил ряд важных закономерностей, показав, что не во всех географических зонах культурные растения обладают одинаковым разнообразием. Для разных культур существуют свои центры многообразия, где сосредоточено наибольшее число сортов, разновидностей, разнообразных наследственных уклонений. Эти центры многообразия являются вместе с тем районами происхождения сортов данной культуры. Большинство центров совпадает с древними очагами земледелия. Это в основном не равнинные, а горные районы.

Таких центров многообразия Н. И. Вавилов насчитывал сначала 8. В более поздних работах он различает 7 основных центров. Они изображены на прилагаемой карте (рис. 119).

Перечислим эти центры и основные, происходящие из них культуры:

- 1) Южноазиатский тропический центр. Тропическая Индия, Индокитай, Южный Китай, острова Юго-Восточной Азии. Исключительно богат культурными растениями (около $\frac{1}{3}$ известных видов культурных растений). Родина риса, сахарного тростника, множества плодовых и овощных культур.



Центры многообразия и происхождения культурных растений по Н. И. Вавилову.

2) Восточноазиатский центр. Центральный и Восточный Китай, Япония, остров Тайвань, Корея. Родина сои, нескольких видов проса, множества плодовых и овощных культур. Этот центр тоже богат видами культурных растений — около 20% мирового многообразия.

3) Юго-западноазиатский центр. Малая Азия, Средняя Азия, Иран, Афганистан, Северо-Западная Индия. Родина нескольких форм пшеницы, ржи, многих зерновых, бобовых, винограда, плодовых. В нем возникло 14% мировой культурной флоры.

4) Средиземноморский центр. Страны, расположенные по берегам Средиземного моря. Этот центр, где располагались величайшие древние цивилизации, дал около 11% видов культурных растений. В их числе маслины, многие кормовые растения (клевер, одноцветковая чечевица), многие овощные (капуста) и кормовые культуры.

5) Абиссинский центр. Небольшой район Африканского материка с очень своеобразной флорой культурных растений. Очевидно, очень древний очаг самобытной земледельческой культуры. Родина зернового сорго, одного вида бананов, масличного растения нута, ряда особых форм пшеницы и ячменя.

6) Центральноамериканский центр. Южная Мексика. Родина кукурузы, длинноволокнистого хлопчатника, какао, ряда тыквенных, фасоли — всего около 90 видов культурных растений.

7) Андийский (Южноамериканский) центр. Включает часть районов Андийского горного хребта вдоль западного побережья Южной Америки. Родина многих клубненосных растений, и в том числе картофеля, некоторых лекарственных растений (кокаиновый куст, хинное дерево и др.)

Подавляющее большинство культурных растений связано с одним или несколькими из перечисленных выше географических центров. Но существуют немногие виды, имеющие иное, независимое от этих центров происхождение. Так, например, финиковая пальма была введена в культуру в оазисах Аравии и, может быть, Сахары.

- ? 1. В чем заключаются основные положения учения Н. И. Вавилова о центрах многообразия и происхождения культурных растений? 2. Назовите несколько очагов культуры человечества и укажите, с какими центрами многообразия культурных растений они совпадают. 3. Какое значение для практической селекции имеет учение Н. И. Вавилова о центрах многообразия и происхождения культурных растений?

64. Селекция растений

Основными методами селекции растений служат гибридизация и отбор. Обычно эти методы сочетаются.

Методы отбора могут быть различными, что в значительной мере зависит от формы размножения данного вида растений. Различают две основные формы отбора: массовый и индивидуальный.

Первый из них сводится к отбору из исходного материала целой группы особей, обладающей желательными для селекционера признаками. Этот метод отбора может быть однократным или повторным (повторяющимся в целом ряде последующих поколений).

Массовый отбор наиболее часто осуществляется в отношении перекрестноопыляющихся растений, к которым относятся рожь. Многие распространенные сорта ржи (например, сорт Вятка) выведены этим методом. Массовый отбор не может привести к выделению генотипически однородного материала. Полученные этим путем сорта обычно требуют повторного применения отбора для поддержания своих свойств. Эта работа осуществлялась в семеноводческих хозяйствах.

Индивидуальный отбор, который тоже может быть однократным или повторным, сводится к выделению отдельных особей и получению от них потомства. Этот метод наиболее применим к самоопыляющимся растениям (пшеница, ячмень, овес). Потомство одной самоопыляющейся особи называется *чистой линией*. Таким образом индивидуальный отбор приводит к выделению отдельных чистых линий. Самоопыление ведет к появлению гомозиготных форм (вспомните моногибридное скрещивание, в результате которого все время уменьшается число гетерозигот и возрастает число гомозигот, стр. 217). Таким образом, индивидуальный отбор обычно приводит к получению сорта, представляющего собой одну или несколько чистых линий, которые, будучи гомозиготными, сохраняют постоянство генотипа. Разумеется, и в пределах чистых линий происходят мутации, так что это постоянство не является абсолютным.

У растений, размножающихся вегетативным путем (картофель, многие плодовые деревья, разводимые отводками), можно в качестве сорта сохранить и размножить любую гетерозиготную комбинацию, обладающую хозяйственно полезными признаками. Понятно, что при половом размножении свойства таких гетерозиготных сортов не сохраняются и произойдет их сложное расщепление.

Самоопыление перекрестноопылятелей (инбридинг). Явления гетерозиса. Самоопыление ведет к повышению гомозиготности, к закреплению этим путем наследственных свойств. Можно ли при селекции перекрестноопыляющихся растений прибегать к самоопылению для получения у них чистых линий? Близкородственное скрещивание (самоопыление у растений, скрещивание между родственными животными) называется ин-

бридингом (или инцухтом). Еще Дарвину было хорошо известно, что инбридинг и у растений, и у животных приводит обычно к неблагоприятному результату: снижению жизнеспособности, уменьшению продуктивности, или, говоря в общей форме, к вырождению.

Чем объясняется неблагоприятное влияние инбридинга? Одной из основных причин служит переход большинства генов в гомозиготное состояние. У организмов непрерывно осуществляется мутационный процесс. Большинство мутаций рецессивны и в значительной своей части вызывают неблагоприятные наследственные изменения (стр. 244). У перекрестноопылятелей эти рецессивные мутации фенотипически не проявляются, так как находятся в гетерозиготном состоянии. При инбридинге они переходят в гомозиготное состояние и оказывают свое действие на развивающийся организм. Иное дело у самоопыляющихся растений. У них не происходит накопления рецессивных неблагоприятных мутаций, так как по мере появления они становятся гомозиготными и отсеиваются естественным отбором.

Несмотря на неблагоприятное влияние самоопыления, у перекрестноопыляющихся растений оно часто и успешно применяется в селекции. Обычно сначала путем инбридинга выводят чистые линии, у которых закрепляются желательные признаки. Вместе с тем происходит резкое снижение урожайности. Затем проводят перекрестное опыление между разными линиями. Это сразу же снижает вредное влияние инбридинга и в ряде случаев ведет к созданию высокоурожайных растений. Этот прием получил название *межлинейной гибридизации*. Часто при этом проявляется эффект *гетерозиса*, или гибридной силы.

Сущность гетерозиса заключается в том, что первое гибридное поколение обладает повышенной урожайностью и жизнеспособностью не только по сравнению с инбредными линиями, но и по сравнению с теми родительскими формами, которые были использованы для создания инбредных линий. При дальнейшем размножении межлинейных гибридов, проявивших гетерозис, эффект его обычно несколько снижается. Генетические причины гетерозиса еще не окончательно выяснены, однако несомненно, что тут играет положительную роль высокая гетерозиготность гибридов, связанная с проявлением повышенной физиологической активности.

Практически поступают следующим образом. Сначала создают большое число инбредных линий, затем приступают к скрещиванию между ними. Выявляют опытным путем те комбинации, которые дают наибольший эффект гетерозиса. Далее сохраняют эти инбредные линии и для хозяйственного использования высевают гибридные семена, которые получают в результате скрещивания линий (межлинейные гибриды). Хотя на первый взгляд этот путь кажется несколько сложным, тем не менее он дает огромный хозяйственный эффект.

Этот эффект имеет чем Ртерна ми пу геогр кое б ных шара селек с отб работ жет дейст В го ма гут с линия практ источ ции, в У до те му В да своей приве чего з Искус Искуе служе следу полно в отне на по всего освещ действ нию п ды. П резуль деятел

? 1 с и с г

Эффективность селекции. От каких факторов зависит эффективность отбора при селекционной работе? Вопрос этот имеет важное практическое значение. Отбор тем эффективнее, чем разнообразнее в наследственном отношении исходный материал. Для получения этого разнообразия пользуются разными путями. Одним из них служит разнообразный в отношении географического происхождения материал. Мы уже знаем, какое большое значение для селекции имеет коллекция культурных растений ВИРа, собранная в различных районах земного шара. Второй путь увеличения разнообразия материала для селекции представляет гибридизация. Скрещивание в сочетании с отбором — один из самых эффективных путей селекционной работы. Наконец, увеличение наследственной изменчивости может достигаться путем повышения мутационной изменчивости действием различных внешних факторов (стр. 247)

В тех случаях, когда наследственное разнообразие исходного материала невелико, отбор малоэффективен. Примером могут служить чистые линии самоопылителей. Отбор в чистых линиях, являющихся гомозиготными по большинству генов, практически не дает никакого результата. В чистых линиях источником наследственных изменений могут быть лишь мутации, но они происходят относительно редко.

У самоопылителей отбор может быть эффективным лишь до тех пор, пока из исходной гомогенной по наследственному составу популяции не будут выделены чистые линии. В дальнейшем он перестает действовать. Для изменения свойств линии следует прибегнуть к гибридизации, которая приведет к неоднородности наследственного состава, за счет чего вновь может эффективно применяться отбор.

Искусственный и естественный отбор в селекции растений. Искусственный отбор на основе наследственной изменчивости служит основным средством изменения организмов. Однако не следует забывать, что искусственный отбор нельзя изолировать полностью от естественного отбора. Это особенно справедливо в отношении растений. При выращивании культурных растений на полях, в питомниках и т. п. они подвергаются воздействию всего комплекса внешних факторов: температуры, влажности, освещения и т. п. Это приводит к тому, что естественный отбор действует параллельно с искусственным и приводит к повышению приспособленности растений к конкретным условиям среды. Поэтому всякий вновь создаваемый сорт является всегда результатом двух одновременно действующих групп факторов: деятельности человека и естественного отбора.

- ? 1. Какие формы отбора применяются при селекции растений? Как они связаны с формами размножения? Поясните на примерах. 2. Что такое инбридинг? В чем его положительные и отрицательные стороны при селекции растений? 3. Поясните на примере, что такое межлинейная гибридизация.

65. Полиплоидия и отдаленная гибридизация растений

У растений одну из форм наследственной изменчивости представляет полиплоидия (стр. 246). Многие из культурных растений (по сравнению с родственными дикими видами) полиплоидны. К числу их относятся пшеница, картофель, некоторые сорта сахарной свеклы.

В генетике и селекции в настоящее время разработан ряд методов экспериментального получения полиплоидов. Многие полиплоиды по сравнению с исходными (диплоидными) формами обладают более мощным ростом и более высокой урожайностью. За последние годы широкое распространение (в том числе и в Советском Союзе) приобрела экспериментально полученная полиплоидная сахарная свекла. Перспективна в хозяйственном отношении полиплоидная гречиха.

Одним из перспективных путей получения новых продуктивных форм культурных растений является отдаленная гибридизация. Обычно скрещивание происходит в пределах вида. Иногда оказывается возможным получение гибридов между разными видами растений из одного рода и даже видами, относящимися к разным родам. Так, например, существуют гибриды ржи и пшеницы, пшеницы и дикого злака эгилопс и некоторые другие. Однако такие отдаленные гибриды в большинстве случаев оказываются бесплодными. Действительно, если бы межвидовые гибриды размножались и оставляли потомство, то существование видов в природе стало бы невозможным, так как процесс гибридизации стер бы границы между ними.

В чем причины бесплодия отдаленных гибридов? Эти причины разнообразны. Мы укажем лишь главные. В большинстве случаев у отдаленных гибридов нарушается нормальный ход созревания половых клеток. Хромосомы обоих родительских видов оказываются настолько несхожими между собой, что нарушается процесс мейоза. Хромосомы оказываются неспособными конъюгировать, и в результате этого не происходит нормальной редукции их числа. Эти нарушения оказываются еще более значительными, когда скрещиваемые виды отличаются по числу хромосом (например, диплоидное число хромосом ржи — 14, мягкой пшеницы — 42). Но даже и при одинаковом числе хромосом скрещиваемых видов нормальный ход мейоза при отдаленной межвидовой гибридизации часто нарушается.

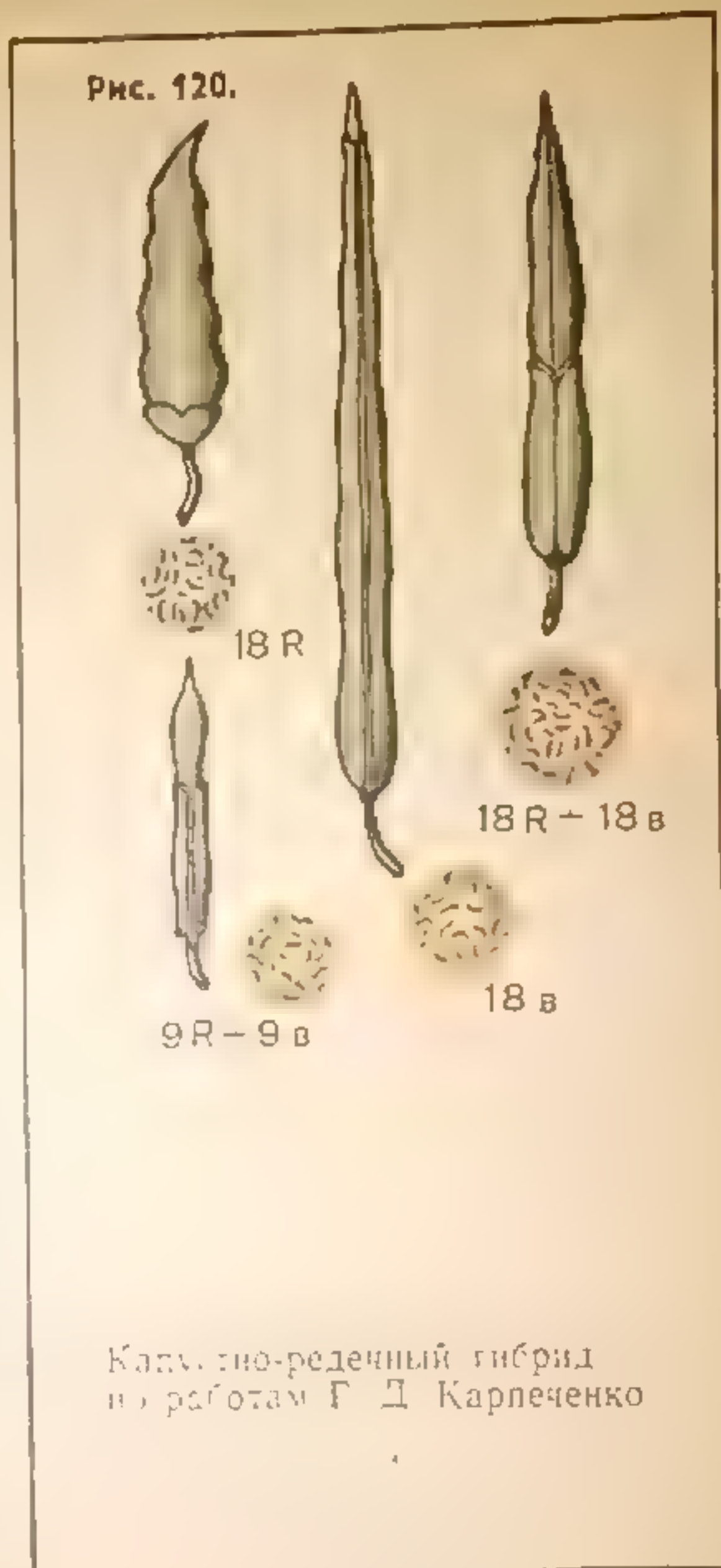
Существуют ли методы восстановления плодовитости отдаленных гибридов? Одним из выдающихся достижений современной генетики и селекции явилась разработка способов преодоления бесплодия межвидовых гибридов, приводящая в некоторых случаях к восстановлению их нормального размножения.

Впервые это удалось осуществить в 1924 г. советскому генетику Г. Д. Карпеченко при скрещивании редьки и капусты. Оба эти вида имеют (в диплоидном наборе) по 18 хромо-

сом. Соответственно их гаметы несут по 9 хромосом (гаплоидный набор). Гибрид имеет 18 хромосом, но он совершенно бесплоден, так как «редечные» и «капустные» хромосомы не конъюгируют друг с другом, и поэтому процесс мейоза не может протекать нормально. Г. Д. Карпеченко удалось удвоить число хромосом гибрида. В результате в гибридном организме оказалось 36 хромосом, состоящих из двух полных диплоидных наборов редьки и капусты. Это создало нормальные возможности для мейоза, так как каждая хромосома имела себе парную. «Капустные» хромосомы конъюгировали с «капустными», а «редечные» — с «редечными». Каждая гамета несла по одному гаплоидному набору редьки и капусты ($9+9=18$). В зиготе вновь оказывалось 36 хромосом. Таким образом, полученный межвидовой гибрид стал плодовитым. Гибрид не расщеплялся на родительские формы, так как хромосомы редьки и капусты всегда оказывались вместе. Этот вновь созданный человеком вид растения не был похож ни на редьку, ни на капусту.

Стручки занимали как бы промежуточное положение и состояли из двух половинок, из которых одна напоминала стручок капусты, другая — редьки (рис. 120). Отдаленная гибридизация в сочетании с удвоением числа хромосом (создание полиплоида) привела к полному восстановлению плодовитости.

Существует немало культурных растений, созданных в результате отдаленной гибридизации. Укажем некоторые из них. В результате многолетних работ акад. Н. В. Цицина и его сотрудников получены ценные сорта зерновых на основе гибридизации пшеницы с многолетним сорным растением — пыреем. Среди них имеется многолетняя пшеница, которую нет необходимости сеять каждый год, ибо корневища ее перезимовывают, как у пырея. Она представляет большой практический интерес для сельского хозяйства.



Широкое приложение нашел метод отдаленной гибридизации в плодоводстве, в частности в результате замечательных работ И. В. Мичурина.

- ? 1. Что мы называем полиплоидией? Какую роль играла полиплоидия в возникновении культурных растений? 2. Приведите примеры использования экспериментально получаемых полиплоидов в селекционной работе. 3. Какие вы знаете методы восстановления плодovitости гибридов при отдаленной гибридизации?

66. Методы работы И. В. Мичурина

Иван Владимирович Мичурин, выдающийся советский ученый и селекционер, посвятил делу выведения новых сортов плодовых деревьев и других культурных растений 60 лет напряженного труда. Его работы начались еще в 70-х годах прошлого столетия в небольшом питомнике в г. Козлове (ныне Мичуринск) бывшей Тамбовской губернии.

Широко развернуть исследования И. В. Мичурина смог лишь после Октябрьской революции, когда его питомник был превращен в большое государственное учреждение. Деятельностью Мичурина интересовался В. И. Ленин, который придавал ей большое значение. М. И. Калинин посетил питомник Мичурина и всячески содействовал его работе.

И. В. Мичурин не сразу пришел к тем методам и взглядам, которые привели к большим успехам. В первый период своей деятельности он потратил много сил и времени на опыты по простой акклиматизации (принужению) южных сортов к относительно суровому климату Тамбовской губернии с холодными зимами. Эти попытки оказались безуспешными. Все южные сорта зимой вымерзали.

Убедившись в бесплодности метода простой акклиматизации, И. В. Мичурин приступил к разработке новых методов изменения природы растений.

В основе работ И. В. Мичурина лежит сочетание трех основных методов: *гибридизации, отбора и воздействия условиями среды на развивающиеся гибриды* (их «воспитание» в желательном направлении).

Большое внимание И. В. Мичурин уделял подбору исходных родительских форм для гибридизации. Он применял скрещивание местных морозостойких сортов с лучшими южными. Получаемые сеянцы подвергались строгому отбору. И. В. Мичурин полученные таким путем гибриды содержал в относительно суровых условиях, не давая им тучной почвы. И. В. Мичурин указывает на возможность управлять доминированием признаков при развитии гибрида (стр. 241), причем воздействие внешних факторов на доминирование оказывается эффективным лишь на ранних стадиях развития гибрида.

К числу сортов, полученных этим методом, относится, напри-

мер, яблоня Славянка, выведенная в результате гибридизации Антоновки с южным сортом Ранетом ананасным.

Особое значение в подборе родительских форм для гибридизации И. В. Мичурин придавал скрещиванию географически удаленных форм, не произрастающих в той местности, где осуществляется гибридизация. Он писал по этому поводу: «Чем дальше отстоят между собою пары скрещиваемых растений-производителей по месту их родины и условиям среды, тем легче приспособляются к условиям среды в новой местности гибридные сеянцы». Этим путем И. В. Мичурин создал ряд первоклассных сортов плодовых деревьев. К числу их относится сорт яблони Бельфлер-китайка, полученный в результате гибридизации Китайской яблони родом из Сибири и американского сорта Бельфлера желтого. Китайка характеризуется выносливостью к морозам и стойкостью к болезням, Бельфлер — замечательными вкусовыми качествами плодов. Полученный И. В. Мичуриным новый сорт отличается прекрасными вкусовыми качествами и значительной морозостойкостью.

Широко известный мичуринский сорт груши Бере зимняя Мичурина был получен в результате гибридизации дикой уссурийской груши и южного французского сорта Бере-рояль.

Среди методов «воинтаж», которые разработал И. В. Мичурин, следует указать на метод ментора. Сущность его сводится к тому, что признаки развивающегося гибрида изменяются под влиянием привоя или подвоя. Метод этот применялся Мичуриным в двух вариантах.

Первый из них сводился к тому, что гибридный сеянец служил привоем и прививался на взрослое плодоносящее растение (подвой), в направлении свойств которого желательно было изменить свойства гибрида.

Второй вариант метода ментора заключался в том, что в крону молодого гибридного сеянца, который в данном случае служил подвоем, прививался черенок от того сорта, в направлении которого желательно было изменить свойства гибрида.

Метод ментора был применен И. В. Мичуриным, например, при создании уже упоминавшегося выше сорта яблони Бельфлер-китайка. В первый год плодоношения гибридов, давших начало сорту, оказалось, что по качеству плодов они уклоняются в сторону Китайки, обладающей мелкими кислыми плодами. Чтобы изменить дальнейшее развитие гибрида в желательную сторону, в крону молодых гибридов были привиты черенки Бельфлера, под влиянием которых формирование признака гибрида в последующие годы пошло в сторону приобретения высоких вкусовых качеств Бельфлера. Этот метод был применен И. В. Мичуриным и при создании некоторых других сортов, но широкого применения он не получил. Влияние ментора следует, очевидно, рассматривать как изменение свойства доминантности в процессе развития гибрида. В данном случае ментор способствовал фенотипическому проявлению (т. е. доминированию) генов, полученных от сорта Бельфлер.

В своей работе И. В. Мичурин применял и отдаленную гибридизацию — скрещивание между разными видами и даже родами и получил таким образом несколько ценных новых плодовых культур.

Он получил гибриды ежевики и малины, сливы и терна, рябины и сибирского боярышника и др.

Большинство полученных И. В. Мичуриным сортов представляло собой сложные гетерозиготы. Для сохранения их качеств они размножались вегетативным путем: отводками, прививками и т. п.

- ? 1. Перечислите основные методы работы И. В. Мичурина по созданию новых урожайных форм плодовых и плодово-ягодных культур. 2. Какие преимущества при селекционной работе дает скрещивание географически отдаленных сортов? 3. Какими основными принципами руководствовался И. В. Мичурин при «воспитании» гибридов? Какими путями возможно, изменяя внешние условия, изменять характер доминирования признака? 4. Почему при вегетативном размножении не наблюдается расщепления признаков в потомстве гибридов?

67. Селекция животных

Общие принципы селекции животных те же, что и растений. И здесь в основе получения новых и улучшения существующих пород лежат наследственная изменчивость и отбор, протекающие на фоне условий среды, наиболее благоприятствующих фенотипическому проявлению желательных признаков. Однако селекция животных обладает и некоторыми особенностями, вытекающими из самой природы животного организма.

У домашних животных существует только половое размножение. Поэтому полностью отпадают формы селекции, связанные с самооплодотворением и вегетативным размножением.

Вторая важная особенность селекции животных заключается в том, что здесь трудно получить такой массовый материал, как это имеет место у растений, каждая отдельная особь представляет значительную ценность, а число особей в потомстве относительно невелико.

Селекционная (племенная) работа с домашними животными и птицами всегда связана с подбором производителей по хозяйственно ценным признакам.

При селекционной работе с животными очень важное значение приобретает учет экстерьерных признаков. Под экстерьером понимают всю совокупность наружных форм животных, их телосложение, соотношение размеров частей тела. Организм представляет собой целостную систему, все части которой функционально и генетически связаны друг с другом. Развитие многих хозяйственно важных признаков, например молочности у рогатого скота связано с определенным телосложением, хорошим развитием кровеносной и дыхательной систем и т. п. По-

этому при селекционной работе с животными особенно важно учитывать корреляции (связи) между разными признаками, так как высокая продуктивность по тому или иному признаку связана с определенными экстерьерными особенностями. На рисунке 121 отчетливо видны различия экстерьера между двумя породами крупного рогатого скота: шортгорнской (мясная) и джерсейской (молочная).



Разные породы неодинаково реагируют на изменение внешних условий, кормление.

Например, яйценоские куры леггорн на улучшение рациона отвечают повышением яйценоскости, почти не меняя веса. У мясных пород улучшение питания прежде всего сказывается на увеличении веса, у молочных — в увеличении удоя.

В племенной селекционной работе важно ясно представлять себе конечную цель, к которой стремится селекционер. Желательно ли увеличить молочную продукцию, повысить жирномолочность или изменить мясные качества скота — все это требует разных направлений отбора и подбора производителей, применения различных систем скрещивания.

Типы скрещивания и методы разведения в животноводстве. Типы скрещивания при селекционной работе с животными разнообразны. Мы рассмотрим некоторые из них. Можно различать два основных типа скрещивания: неродственное (аутбридинг) и родственное (инбридинг).

Важный момент в подборе производителей представляет учет их родословных. В племенных хозяйствах всегда ведутся племенные книги, в которых подробно учитываются экстерьерные особенности и продуктивность родительских форм в течение ряда поколений. По признакам предков можно судить с известной вероятностью о генотипе производителей, которые участвуют в скрещивании. Например, выбирая быка-производителя для улучшения породы по признаку жирномолочности, нужно учитывать содержание жира в молоке его предков по материнской линии.

Неродственное скрещивание в пределах породы или между породами при строгом отборе приводит к поддержанию свойств или улучшению их в ряде следующих поколений.

Близкородственное скрещивание применяется в тех случаях, когда желают перевести большинство генов породы в гомозиготное состояние. Инбридингом в животноводстве называют скрещивание между братьями и сестрами или между родителями и потомством. Оно до известной степени аналогично са-

моопылению у растений и, так же как последнее, приводит к повышению гомозиготности. Причины этого были уже рассмотрены выше (§ 64). Инбридинг должен сопровождаться очень строгим отбором особей, обладающих нужными хозяйственными признаками. Однако инбридингом следует пользоваться с осторожностью, ясно сознавая поставленную цель. При инбридинге часто наблюдается ослабление животных, потеря устойчивости к действию внешних факторов, в том числе к заболеваниям. Все эти отрицательные проявления инбридинга называются *депрессией*. Ряд следующих друг за другом инбредных поколений носит название *инбредной линии*. Причины неблагоприятного влияния инбридинга уже были рассмотрены выше в отношении растений (стр. 260).

При селекционной работе инбридинг обычно является лишь одним из этапов улучшения породы. За ним следует скрещивание разных инбредных линий, которое устраняет вредное влияние близкородственного разведения, переводя неблагоприятно действующие гены в гетерозиготное состояние.

Положительной стороной инбридинга является закрепление благоприятных, хозяйственно ценных признаков, которые при дальнейшем разведении сохраняются, если они оказываются общими для обоих производителей.

Гетерозис у домашних животных. Так же как и у растений, у домашних животных наблюдается явление *гибридной силы*, или *гетерозиса* (стр. 259). Оно заключается в том, что при скрещивании разных пород (а также при межвидовых скрещиваниях) иногда в первом поколении гибридов наблюдается особенно мощное развитие и поднятие общей жизнеспособности. Это свойство, однако, не сохраняется в последующих поколениях и затухает. Гетерозис широко применяется в животноводстве и птицеводстве, так как первое поколение гибридов, обнаруживающее явление гибридной силы, непосредственно используется в хозяйственных целях. Например, для получения скороспелых свиней (на мясо и сало) применяется скрещивание дюрокджерсейской и беркширской пород.

Вот несколько примеров гетерозиса.

При скрещивании разных пород кур получены следующие результаты по хозяйственно важным показателям¹.

Порода	Масса в возрасте 75 суток (в % к русской белой)	Яйценоскость (в год)	Масса яйца в г
Русская белая	100	177,7	59,6
Московская .	110,2	209,1	58,7
Гибрид . . .	119,8	232,4	61,2

¹ По работам С. И. Сметнева.

Испытание производителей по потомству. При селекции домашних животных очень важно бывает определить наследственные качества самцов по признакам, которые непосредственно у самцов не проявляются, как например по молочности, жирномолочности у быков или по яйценоскости у домашней птицы. От самца можно получить большое потомство, в особенности если применять методы искусственного осеменения. Поэтому для улучшения породы важно знать, какие гены по хозяйственно важным признакам несет самец. Для определения этого используется метод определения качества производителей по потомству. Сначала от производителей получают относительно небольшое потомство и сравнивают продуктивность этого потомства с матерями и со средней продуктивностью породы. Если продуктивность дочерей оказывается повышенной, то это указывает на большую генность производителя, которого следует широко использовать для дальнейшего улучшения породы.

Метод испытания по потомству широко применяется в племенной селекционной работе с животными.

- ?** 1. Каковы основные особенности селекции животных по сравнению с селекцией растений? 2. Какие основные типы скрещивания и разведения применяются в селекции животных? 3. Что такое испытание родителей по потомству? Какое значение имеет этот метод в селекции животных? 4. Что такое гетерозис? Как он используется в животноводстве?

68. Примеры создания высокопродуктивных пород домашних животных

Работы М. Ф. Иванова Выдающийся советский ученый академик М. Ф. Иванов создал высокопродуктивную породу свиней — степную белую украинскую свинью. Работы эти проводились в южной части Украины — в Аскании-Нова, в Институте акклиматизации и гибридизации животных.

Завезенные на Украину высокопродуктивные белые английские свиньи в условиях юга СССР оказались малоприспособленными к климату. С другой стороны, местная беспородная украинская свинья отличалась большой выносливостью, хорошей плодовитостью, неприхотливостью, но обладала плохими мясными качествами.

Как исходный материал М. Ф. Иванов взял маток местной породы, которых скрестил с хряками белой английской породы. Из числа полученных гибридов несколько маток вновь были скрещены с чистопородным хряком английской породы. Среди полученных животных был выделен один хряк (Асканий-1), особо отличавшийся своими положительными качествами. В его потомстве был применен тесный инбридинг, который привел к выравниванию и закреплению признаков создаваемой

породы (быстрый рост, высокий вес, высокие качества мяса и др.). По ходу этих близкородственных скрещиваний все время применялся самый строгий отбор. Браковались все животные, у которых обнаруживались недостатки. Наряду с линией, бравшей начало от Аскания-1, аналогичным методом были созданы другие линии. В дальнейшем была проведена гибридизация между линиями, также сопровождавшаяся жестким отбором. Этим путем была создана высокопродуктивная, хорошо приспособленная к местным условиям группа животных, которая и положила начало новой породе.

Кроме степной белой свиньи, М. Ф. Иванов создал и другие высокопродуктивные породы домашних животных. Среди них большое значение имеет, например, асканийский рамбулье — порода овец с очень высоким настригом первоклассной шерсти.

В селекционной работе М. Ф. Иванов всегда большое внимание уделял условиям содержания и кормления животных, подчеркивая значение условий внешней среды для выявления породных свойств.

Отдаленная гибридизация домашних животных. Отдаленная гибридизация применяется не только в растениеводстве, но и в животноводстве. Так же как и у растений, межвидовые гибриды животных часто бывают бесплодными. Восстановление плодovitости представляет здесь более сложную задачу, так как практически получение полиплоидов на основе удвоения числа хромосом у животных невозможно. В некоторых межвидовых скрещиваниях оба или один пол оказываются плодовитыми, и в этих случаях гибриды могут быть использованы для получения новых форм домашних животных. Однако и в тех случаях, когда потомство, полученное в результате отдаленной гибридизации, оказывается бесплодным, оно может иметь важное значение для практики. С глубокой древности человеком используются мулы, представляющие собой гибрид кобылицы с ослом. Мулы по сравнению с родительскими формами обнаруживают гетерозис: они очень выносливы, обладают большой физической силой, по продолжительности жизни они значительно превышают родительские виды. Мулы бесплодны. Гетерозис проявляется также при скрещивании двугорбого и одногорбого верблюдов. Гибриды их (одногорбые) обладают исключительной силой и выносливостью.

В Советском Союзе проводится большая работа по межвидовой гибридизации животных. Некоторые уже полученные результаты имеют большое практическое значение.

Успешно завершилось создание новой породы овец в Казахстане на основе гибридизации тонкорунных овец с диким горным бараном — архаром. Гибриды оказались плодовитыми. На основе этой гибридизации при применении различных форм отбора создана новая порода тонкорунных овец — архаромеринос (рис. 122). Стада архаромериносов круглогодично пасутся на высокогорных пастбищах в условиях, при которых не могут существовать давшие им начало тонкорунные овцы — мериносы.

Бо
гибри
ското
живот
нов С
зуются
сокого
Як да
во мо
ности
вкусу
скота
го ск
ются
жива
и мо
чем у
рогат
Это д
вести
ной к

69.

Ми
Многи
ластя
промы
котор
нован
Ис
имеют
деятел
негво
болез
давал
димые
ми ми
Дл
мов ш
деляю
ющие
органи
ции).
расы
Дл
мов за
экспер
Рентге

Большая работа ведется по гибридизации яка с рогатым скотом. Як — это домашнее животное высокогорных районов Средней Азии. Он используется как рабочий скот в высокогорных условиях (рис. 122). Як дает небольшое количество молока очень высокой жирности. Мясо его грубое и по вкусу уступает мясу рогатого скота. Гибриды яка и рогатого скота уже давно используются на практике и обнаруживают гетерозис. Их мясные и молочные качества выше, чем у яка. У гибридов яка с

рогатым скотом бесплодны только самцы, самки же плодовиты. Это дает возможность путем скрещивания с исходными видами вести работы по созданию новой породы скота, приспособленной к горным условиям Средней Азии.



69. Селекция микроорганизмов

Микроорганизмы играют важную роль в жизни человека. Многие из них создают вещества, используемые в разных областях промышленности и в медицине. Такие отрасли пищевой промышленности, как хлебопечение, производство спирта, некоторых органических кислот, виноделие и многие другие, основаны на деятельности микроорганизмов.

Исключительно большое значение для здоровья человека имеют антибиотики. Это особые вещества — продукты жизнедеятельности некоторых микробов и грибов, убивающие болезнетворные микроорганизмы. Благодаря антибиотикам многие болезни излечиваются относительно легко, тогда как ранее они давали большой процент смертности. Витамины, столь необходимые для человека, вырабатываются растениями и некоторыми микроорганизмами.

Для получения наиболее продуктивных форм микроорганизмов широко применяются методы селекции. Путем отбора выделяются расы микроорганизмов, наиболее активно синтезирующие тот или иной используемый человеком продукт. Микроорганизмам свойственна наследственная изменчивость (мутации). Путем отбора мутаций и создаются наиболее активные расы и штаммы.

Для получения высокопродуктивных штаммов микроорганизмов за последнее время особенно широко используется метод экспериментального получения мутаций путем действия лучей Рентгена и некоторых химических соединений. Таким путем

удается повысить наследственную изменчивость микроорганизмов в десятки и сотни раз, благодаря чему облегчается и ускоряется процесс отбора высокопродуктивных штаммов. Особенно больших успехов достигла промышленность антибиотиков. Советские ученые (С. И. Алиханян и др.) получили многочисленные рентгеномутации, которые дают в десятки раз более высокий выход антибиотиков, чем исходные культуры микроорганизмов.

Селекция находит широкое применение и в отношении микроорганизмов, используемых в промышленности. Например, дрожжевые грибки, вызывающие брожение в тесте, также обладают разными свойствами. На основе селекции выделяются наиболее продуктивные штаммы, способствующие высокому качеству хлеба.

Наконец, нужно иметь в виду, что мутации происходят и у болезнетворных микроорганизмов, вызывающих заболевания человека. Иногда они приводят к повышению вредоносного действия (вирулентности) микроба, что может иметь тяжелые последствия для человека.

- ?** 1. Как используется инбридинг в селекции животных? Приведите примеры из работ М. Ф. Иванова. 2. Назовите примеры отдаленных гибридов у животных. Имеют ли некоторые из них практическое значение в животноводстве? 3. Приведите примеры селекционной работы с микроорганизмами.

Законы наследственности, рассмотренные выше в приложении к растениям, животным и микроорганизмам, в полной мере справедливы и для человека. Изучение генетики человека имеет большое значение для благополучия человеческого общества. В настоящее время твердо установлено, что существуют болезни, обусловленные наследственными факторами. Правильное распознавание этих заболеваний крайне важно для их профилактики и лечения.

70. Методы изучения наследственности человека

Изучение наследственности человека представляет значительные трудности. К ним относятся следующие: размножается медленно, и каждая супружеская пара имеет относительно небольшое количество детей. Как же эти методы используются в генетике человека и в медицинской генетике, изучающей наследственные заболевания людей? Таких основных методов три: 1) генеалогический, 2) близнецовый, 3) цитогенетический. Остановимся кратко на характеристике каждого из них.

Генеалогический метод заключается в изучении родословной людей за возможно большее число поколений. Таким путем удалось установить характер наследования многих признаков человека, в том числе многих наследственных заболеваний. Вот несколько примеров признаков человека, наследуемых по законам Менделя.

Доминантные	Рецессивные
Курчавые волосы (у гетерозигот волнистые) Раннее облысение Рыжие волосы Карие глаза Веснушки Карликовость Полидактилия (лишние пальцы)	Прямые волосы Норма Рыжие волосы Голубые или серые Отсутствие веснушек Нормальный рост Нормальное число пальцев

Генеалогическим методом установлено, что развитие некоторых способностей человека (например, музыкальности, склонности к математическому мышлению и т. п.) также определяется наследственными факторами. Известны многочисленные исторические факты, когда музыкальная одаренность проявлялась



Пять однойяйцевых близнецов в возрасте 5 лет (Канада, семья Дионн).

в течение многих поколений. Примером может служить известная семья Бахов, где в течение ряда поколений было много музыкантов, и в их числе знаменитый композитор начала XVIII в. Иоганн Себастьян Бах.

Разумеется, в человеческом обществе, где ведущими факторами, определяющими развитие личности, является социальная среда, далеко не всегда способности, обусловленные генотипом, могут проявиться. Эксплуатируемые при капитализме рабочие и крестьяне лишь редко получают возможность реализовать присущее им духовное богатство.

Генеалогическим методом доказано наследование многих заболеваний. К числу их, например, относятся некоторые болезни обмена веществ, в том числе сахарный диабет (рецессивный). Он характеризуется нарушением углеводного обмена и распознается по повышенному содержанию сахара в крови. Существует врожденная (рецессивная) глухота. Некоторые формы тяжелого психического расстройства — шизофрении — тоже наследственны (рецессивны). Известны наследственные заболевания, определяемые не рецессивными, а доминантными генами. К числу их относится, например, наследственная дегенерация роговицы (ведущая к слепоте). Предрасположенность к заболеванию туберкулезом носит тоже наследственный характер.

Близнецовый метод состоит в изучении развития признаков у близнецов. Известно, что у человека близнецы бывают двух категорий. В одних случаях оплодотворяется не одна яйцеклетка, а две (в редких случаях три и даже четыре). При этом рождаются дети (близнецы) одного или разных полов, похожие друг на друга как братья и сестры, не являющиеся близнецами. Но иногда одна яйцеклетка дает начало двум (в исключительных случаях трем, четырем и даже пяти) эмбрионам. Тогда получаются однойяйцевые близнецы, которые всегда относятся к одному полу и обнаруживают поразительное сходство друг с

другом. Это пом., а разн. нием усло. цов в тече в разных о роли сре человека.

Цитоген. последние ценного ма болеваний ные забол которых, к клетках являясь фе сивных ал рения в од

Мы уж мутаций, или структ века и вв может быт мосомных дни метаф сом челове человека м лики. За п позволяют бого чело

71. Гене

Все бо ции. Мно словлены вить в тех мутации (Известны оказывае число их бы, незначи ствия. Раз Оно выраж маленькую выражению Происхо но со случ при мейозе гомологич

другом. Это понятно, так как они обладают одинаковым генотипом, а различия между ними обусловлены исключительно влиянием условий среды (рис. 123). Изучение однояйцевых близнецов в течение всей их жизни, в особенности если они живут в разных условиях, дает много ценных сведений для суждения о роли среды в развитии телесных и психических свойств человека.

Цитогенетический метод. Большое значение приобрел за последние годы цитогенетический метод, который дал много ценного материала для выяснения причин наследственных заболеваний человека. С генетической точки зрения наследственные заболевания представляют собой мутации, большинство которых, как мы видели, рецессивны. Они возникают в половых клетках и распространяются в человеческом обществе, не проявляясь фенотипически до тех пор, пока два одинаковых рецессивных аллельных гена не окажутся в результате оплодотворения в одной зиготе.

Мы уже видели выше, что существует группа хромосомных мутаций, которые выражаются в видимых изменениях числа или структуры хромосом (стр. 216). Вот такие мутации у человека и выявляются цитогенетическим методом. Наличие их может быть установлено при исследовании под микроскопом хромосомных комплексов, которые отчетливее всего видны на стадии метафазы митоза. До недавнего времени изучение хромосом человека представляло большие трудности, так как их у человека много (диплоидное число — 46, рис. 88) и они невелики. За последние годы разработаны новые методы, которые позволяют легко и просто изучить хромосомный комплекс любого человека, не принося ему никакого вреда.

71. Генетика человека и медицина

Все большее значение приобретает генетика для медицины. Многие отклонения от нормы и болезни человека обусловлены генотипически. Это особенно отчетливо удастся установить в тех случаях, когда у человека происходят хромосомные мутации (изменения в числе хромосом). Приведем примеры. Известны случаи, когда в хромосомном комплексе человека оказывается одна лишняя маленькая хромосома и общее число их в диплоидном наборе оказывается 47. Это, казалось бы, незначительное нарушение имеет крайне тяжелые последствия. Развивается заболевание, называемое болезнью Дауна. Оно выражается в том, что больной имеет непропорционально маленькую голову, узкие глазные щели, плоское лицо и резко выраженную умственную отсталость.

Происхождение такого рода хромосомных нарушений связано со случайными отклонениями в ходе редукционного деления при мейозе (стр. 205). При нормальном ходе этого процесса гомологичные хромосомы расходятся в разные клетки, благо-

даря чему диплоидный хромосомный комплекс становится гаплоидным. Если при редукционном делении обе гомологичные хромосомы одной из пар отойдут к одному полюсу (вместо того чтобы распределиться между двумя клетками), то получится гамета с одной лишней хромосомой. При слиянии такой гаметы с другой, нормальной, получится зигота с одной избыточной хромосомой.

Кроме болезни Дауна, изучено еще свыше 100 нарушений в структуре хромосомного комплекса человека, сопровождающихся отклонениями в нормальном развитии. Многие из них выражаются в тяжелых заболеваниях.

Наследственные заболевания определяются особенностями генотипа. Это не означает, что медицина не может бороться с ними. Если в раннем возрасте обнаружено отклонение в хромосомном аппарате, то возможно лечение (чаще всего сводящееся к действию гормонов), которое частично или полностью устраняет тяжелые симптомы заболевания.

Человек — существо социальное, и внешней средой для него является социальная среда, создаваемая самим человеком и различная в разные эпохи человеческой истории. Социальный фактор прежде всего определяет развитие человеческой личности. Но наряду с этим каждый человек обладает своими биологическими особенностями, определяемыми его генотипом. Люди генотипически различны. В человеческом обществе непрерывно идет процесс мутационной изменчивости, интенсивного генетического расщепления. Эта генетическая неоднородность людей находит выражение как в физических признаках (цвет глаз, волос, рост и т. п.), так и в складе характера, одаренности, склонности к определенным формам деятельности.

Генетическая неоднородность человеческого общества отнюдь не означает биологической неравноценности рас (гл. V).

Генотипические возможности человека в классовом капиталистическом обществе в большинстве населения не реализуются. Для этого при капитализме нет необходимых социальных условий. Иное дело в социалистическом и будущем коммунистическом обществе при отсутствии эксплуатации человека человеком. При социализме создаются оптимальные возможности для развития каждой отдельной человеческой личности.

- ?** 1. Какие существуют методы изучения наследственности человека? Перечислите и охарактеризуйте каждый из них. 2. Приведите примеры доминантных и рецессивных признаков человека. 3. Какие вы знаете примеры наследственных заболеваний человека? 4. Какими методами исследуются хромосомные мутации человека? 5. Каково практическое значение для медицины имеет изучение генетики человека?

ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ОРГАНИЗМА И СРЕДЫ

Глава XIII. ОРГАНИЗМ
 И СРЕДА

Глава XIV. БИОСФЕРА
 И ЧЕЛОВЕК

На рисунке
интенсивности
тора. Интенсивность
неоднородности
больше отклон
ного вида вели
повышения),
нцы, за кото
зывают нижни
Так как о
сбитания, то

ПОДВОДНЫЙ ПОДБОЛ

Гибель

сятся свет, температура, влажность и другие компоненты климата, а также состав водной, воздушной и почвенной среды.

2. *Биотические факторы* — всевозможные влияния, которые испытывает организм со стороны окружающих его живых существ. В современную эпоху исключительно большое влияние на природу оказывает деятельность человека, которую можно рассматривать как особый экологический фактор.

В природе внешние условия всегда в какой-то мере изменчивы. Каждый вид в процессе эволюции приспособился к определенной интенсивности экологических факторов и амплитуде их колебания. Возникшие приспособления к конкретным условиям обитания наследственно закреплены. Поэтому, будучи очень целесообразными для среды, в которой исторически сформировался вид, экологические адаптации ограничивают или даже исключают возможность существования в иной обстановке.

Разные экологические факторы: как, температура, газовый состав атмосферы, пища, действуют на организм различными путями. Соответственно различны морфологические и физиологические приспособления к ним. Однако результаты влияния любого фактора экологически сравнимы, так как они всегда выражаются в изменении жизнеспособности организма, что в конечном итоге приводит к изменению численности популяции.

На рисунке 124 показана общая схема влияния на организм интенсивности (количественного значения) экологического фактора. *Интенсивность фактора, наиболее благоприятная для жизнедеятельности, называется оптимальной или оптимумом.* Чем больше отклоняется значение фактора от оптимальной для данного вида величины (как в сторону понижения, так и в сторону повышения), тем сильнее угнетается жизнедеятельность. Границы, за которыми существование организма невозможно, называют нижним и верхним пределами выносливости.

Так как оптимум отражает особенности условий в местах обитания, то он обычно неодинаков у разных видов. В соответ-



ствии с тем, какой уровень фактора наиболее благоприятен, можно различать виды: тепло- и холодолюбивые, влаго- и сухолюбивые, приспособленные к высокой и низкой солености воды и т. д. Наряду с этим видовые приспособления проявляются также и в выносливости к степени изменчивости фактора. Узко приспособленными называют виды, выносящие лишь небольшие отклонения фактора от оптимальной величины; широко приспособленными — виды, способные выдерживать значительные изменения данного фактора. Например, большинство обитателей моря узко приспособлены к относительно высокой солености воды, и снижение концентрации солей в воде для них губительно. Обитатели пресных вод также узко приспособлены, но к низкому содержанию солей в воде. Однако есть виды, способные выносить очень большие изменения солености воды, например рыбка трехиглая колюшка, которая может жить как в пресных водах, так и в соленых озерах и даже в морях.

Приспособления к отдельным факторам среды в значительной мере независимы, поэтому один и тот же вид может обладать узкой приспособленностью к одному из факторов, например к солености, и широкой приспособленностью к другому, например к температуре или пище.

Взаимодействие факторов. Ограничивающий фактор. На организм всегда одновременно действует очень сложный комплекс окружающих условий. Результат их совместного влияния не является простой суммой реакций на действие отдельных факторов. Оптимум и границы выносливости по отношению к одному из факторов среды зависят от уровня других. Например, при оптимальной температуре повышается выносливость к неблагоприятной влажности и недостатку пищи. С другой стороны, обилие пищи увеличивает устойчивость организма к изменениям климатических условий.

Однако такая взаимная компенсация всегда ограничена, и ни один из необходимых для жизни факторов не может быть заменен другим. Поэтому при смене мест обитания или при изменении условий в данной местности жизнедеятельность вида и его способность к конкуренции с другими будет ограничиваться тем из факторов, который сильнее всего отклоняется от оптимальной для вида величины. Если количественное значение хотя бы одного из факторов выходит за пределы выносливости, то существование вида становится невозможным, как бы ни были благоприятны остальные условия.

Например, распространение многих животных и растений к северу обычно ограничивает недостаток тепла, тогда как на юге ограничивающим фактором для тех же видов может оказаться недостаток влаги или необходимой пищи.

Взаимозависимость организмов и среды. Организм всецело зависит от среды и немыслим без нее. Но в процессе жизнедеятельности и непрерывного обмена веществ со средой растения и животные сами влияют на окружающие условия и изменяют физическую среду. Возникающие в ней изменения в свою оче-

редь приспособ-
ских приспособ-
неживой при-
очень велики
привел к обр-
родом, котор-
ния для бо-
жизнедеятел-
рактору кото-
и животные
бенности —

? 1. Какие
примеры

73. Осно-
и их

Климат —
мани назе-
имеют 3 эл-
Важная осс-
мерной изме-
с географии
ним имеют

Свет. С-
энергии для
гическое де-
товлено его
субточной и

В спект-
различные
дичая и ин-

Ультраф-
бительны д-

потому, что
новым слое

небольшая
(0,300—0,40

стью и в бо-
больших до

и животных
анизме ви-

мие, зрите-
Влияние
на долю ко

го излучен-
возникнове-
приспособл-

редь вызывают у организмов необходимость новых экологических приспособлений. Масштабы и значение таких изменений неживой природы под влиянием деятельности живых существ очень велики. Достаточно вспомнить, что фотосинтез растений привел к образованию современной атмосферы, богатой кислородом, которая стала одним из основных условий существования для большинства современных организмов. В результате жизнедеятельности организмов возникла почва, к составу и характеру которой приспособились в процессе эволюции растения и животные. Изменился и климат, и возникли местные его особенности — микроклиматы.

? ▶ 1. Какие вы знаете основные экологические факторы? 2. Приведите примеры ограничивающего фактора для местных условий.

73. Основные климатические факторы и их влияние на организм

Климат — один из главных компонентов внешней среды. Для жизни наземных растений и животных наибольшее значение имеют 3 элемента климата: свет, температура и влажность. Важная особенность этих факторов заключается в их закономерной изменчивости как в течение года и суток, так и в связи с географической зональностью. Поэтому и приспособления к ним имеют закономерный зональный и сезонный характер.

Свет. Солнечное излучение служит основным источником энергии для всех процессов, происходящих на Земле. Биологическое действие солнечного излучения разнообразно и обусловлено его спектральным составом, интенсивностью, а также суточной и сезонной периодичностью освещения.

В спектре солнечного излучения выделяются три области, различные по биологическому действию: ультрафиолетовая, видимая и инфракрасная (рис. 125).

Ультрафиолетовые лучи с длиной волны менее 0,290 мкм губительны для всего живого. Жизнь на Земле возможна лишь потому, что это коротковолновое излучение задерживается озоновым слоем атмосферы. До поверхности Земли доходит лишь небольшая часть более длинных ультрафиолетовых лучей (0,300—0,400 мкм). Они обладают высокой химической активностью и в большой дозе могут повреждать живые клетки. В небольших дозах ультрафиолетовые лучи необходимы человеку и животным. В частности, они способствуют образованию в организме витамина D. Некоторые животные, например насекомые, зрительно различают ультрафиолетовые лучи.

Влияние видимых лучей с длиной волны от 0,400 до 0,750 мкм, на долю которых приходится большая часть энергии солнечного излучения, достигающего земной поверхности, привело к возникновению у растений и животных ряда очень важных приспособлений.

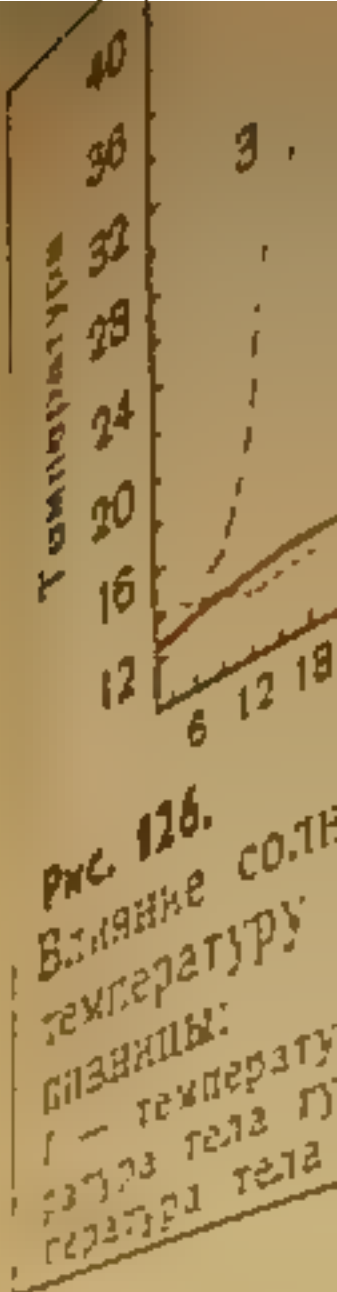


Зеленые растения синтезируют органическое вещество, следовательно, и пищу для всех остальных организмов за счет энергии именно этой части спектра.

Все же для животных и бесхлорофильных растений свет не является обязательным условием существования, и многие почвенные, пещерные и глубоководные виды приспособились к жизни в темноте. Для большинства животных видимый свет является одним из важных факторов внешней среды. Он сильный раздражитель и принимает участие в регуляции многих процессов. Особенно важна роль видимого света в поведении, в пространственной ориентировке. Даже многие одноклеточные животные отчетливо реагируют на изменение освещенности. У более высокоорганизованных, начиная с кишечнополостных, уже есть специальные светочувствительные органы, а у высших форм (членистоногие, моллюски, позвоночные) параллельно и независимо развились сложные органы зрения — глаза и способность образного восприятия окружающих предметов.

Большинство животных хорошо различают спектральный состав света, т. е. обладают цветовым зрением. Развитие зрения привело к возникновению у животных разнообразных окрасок, помогающих скрываться от врага или узнавать особей своего вида. У растений возникли яркие окраски цветков, привлекающие опылителей, что облегчило перекрестное опыление.

Инфракрасные лучи с длиной волны более 0,750 мкм, не воспринимаемые глазом человека, являются важным источником тепловой энергии. Ими особенно богат прямой солнечный свет. Эти длинноволновые излучения, поглощаясь тканями животных и растений, вызывают их нагревание. Многие холоднокровные животные (ящерицы, змеи, насекомые) используют солнечный свет для повышения температуры тела, активно выбирая наиболее освещенные солнцем места (рис. 126). Световой режим в природе имеет отчетливую суточную и сезонную периодичность, которая обусловлена вращением Земли.



Большое влияние имеет температура тела животных. Она сильно меняется в течение года. В течение года продолжительность жизни увеличивается. Приходится отметить — кругом лето. Прерывная достигает 6. 123 сентября. Полярными. Ности дня. Солнечного. Ными изме. Ратурные. Служит ва. Рнодически. Температу. Ганизме, на. Но поэтому. Торые част. Росте. Раз. Животных. Температу. Вать постоя. Шинства ж. Шее больш. Активной. Пературы. Верхний. Разных ви.

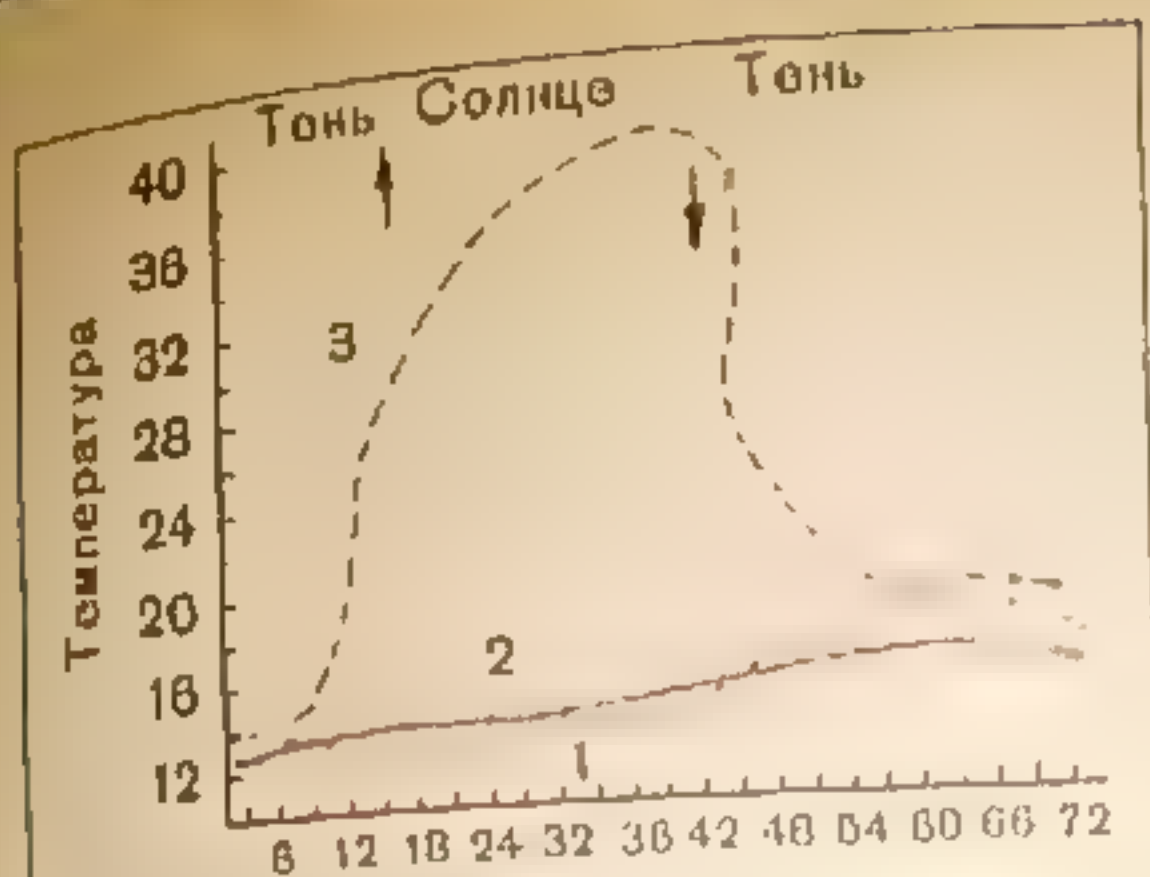


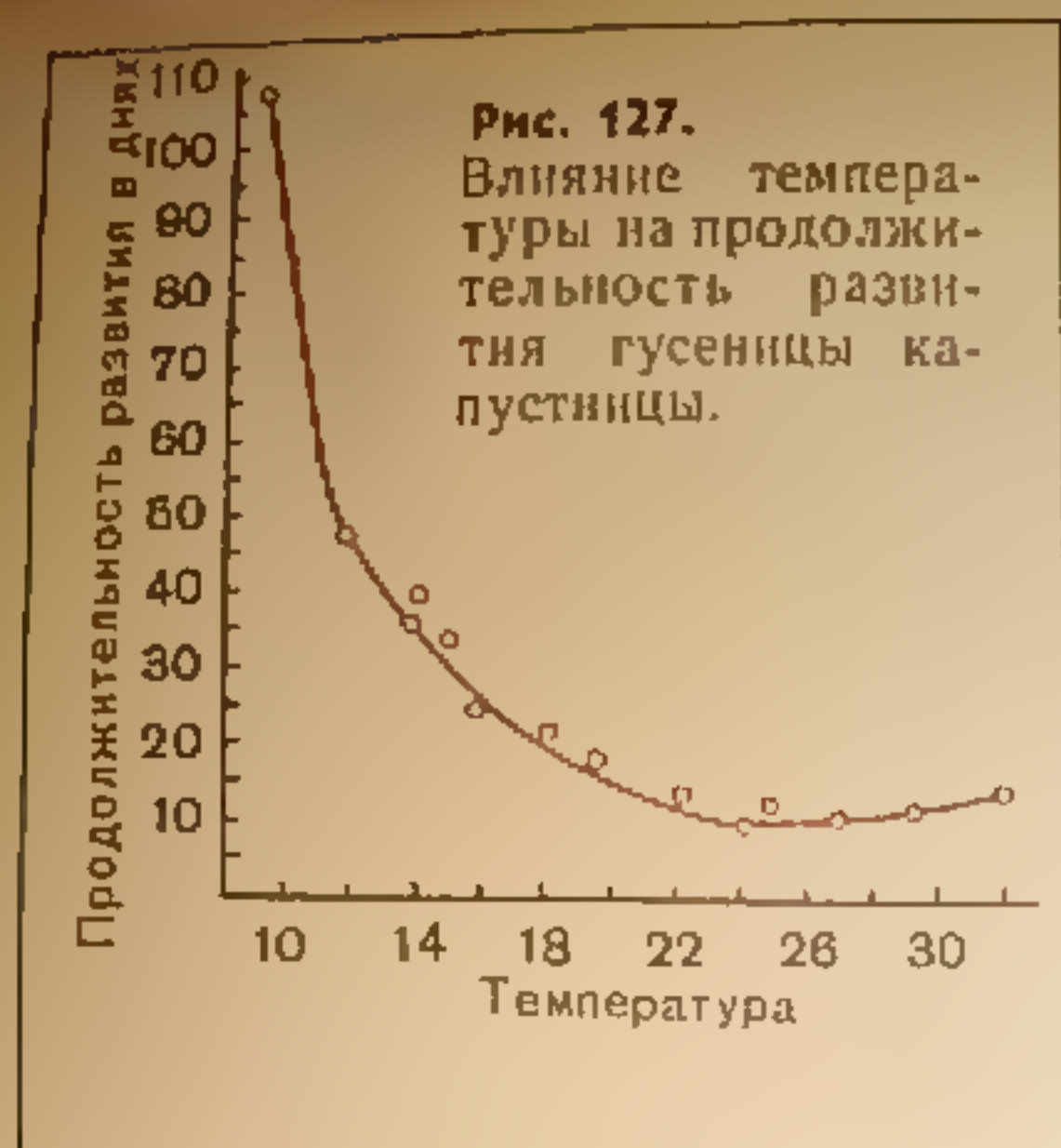
Рис. 126. Минуты
Влияние солнечного излучения на температуру тела гусеницы-крапивицы:
1 — температура воздуха, 2 — температура тела гусеницы в тени, 3 — температура тела гусеницы на солнце.

В связи с суточным ритмом освещения у животных возникли приспособления к дневному и ночному образу жизни. У каждого вида активность приходится на определенные часы суток. В определенные часы суток открываются цветки многих растений, а у некоторых наблюдаются суточные движения листьев (например, у некоторых бобовых). Почти все внутренние физиологические процессы у растений и животных имеют суточный ритм с максимумом и минимумом в определенные часы.

Большое экологическое значение имеет продолжительность дня. Она сильно изменяется с географической широтой и временем года. Только на экваторе продолжительность дня круглый год одинакова и равна 12 часам. С удалением от экватора продолжительность дня летнего полудня прогрессивно увеличивается, а зимнего — сокращается; самый длинный день приходится на 22 июня (летнее солнцестояние), а самый короткий — 22 декабря (зимнее солнцестояние). За полярным кругом летом наблюдается непрерывный день, а зимой — непрерывная ночь, продолжительность которых у полюсов достигает 6 месяцев. В дни весеннего (21 марта) и осеннего (23 сентября) равноденствия продолжительность дня между полярными кругами всюду равна 12 часам. От продолжительности дня и высоты Солнца над горизонтом зависит приток солнечного излучения на земную поверхность, поэтому с сезонными изменениями светового режима тесно связаны и температурные условия. Вследствие этого продолжительность дня служит важным экологическим фактором, регулирующим периодические явления в живой природе.

Температура Все химические процессы, протекающие в организме, находятся в зависимости от температуры. Естественно поэтому, что большие изменения термических условий, которые часто наблюдаются в природе, глубоко отражаются на росте, развитии и других проявлениях жизнедеятельности животных и растений. Особенно ясно зависимость от внешней температуры выражена у организмов, не способных поддерживать постоянную температуру тела, т. е. у всех растений и большинства животных, кроме птиц и млекопитающих. Подавляющее большинство наземных растений и животных в состоянии активной жизнедеятельности не переносит отрицательной температуры.

Верхний температурный предел развития неодинаков для разных видов, но редко бывает выше 40–45°C. Только немно-



гие виды приспособились к жизни при очень высокой температуре. Так, в горячих источниках некоторые моллюски живут при температуре воды до 53°C , личинки мух-львинок — при 60°C , а некоторые сине-зеленые водоросли и бактерии живут при $70\text{—}85^{\circ}\text{C}$.

Оптимальная температура для развития зависит от условий обитания вида; для большинства наземных животных она колеблется в довольно узких пределах ($15\text{—}30^{\circ}\text{C}$).

Организмы с непостоянной температурой тела называются

пойкилотермными. У них повышение температуры вызывает ускорение всех физиологических процессов. Поэтому, чем выше температура, тем короче время, необходимое для развития отдельных стадий или всего жизненного цикла. На рисунке 127 показана продолжительность развития гусеницы капустницы при различной температуре. Если при 26°C период от выхода из яйца до окукливания составляет 10—11 суток, то при температуре около 10°C он увеличивается в 10 раз, т. е. превышает 100 суток. Эта зависимость имеет очень правильный характер.

Установив опытным путем продолжительность развития данного вида животного или растения при различных температурах, можно с достаточной точностью определить ожидаемые сроки развития в природной обстановке. В природе температура всегда колеблется и часто выходит за уровень, благоприятный для жизни. Это привело к возникновению у растений и животных специальных приспособлений, которые ослабляют вредное действие таких колебаний. Растения, например, при перегреве понижают температуру листа, увеличивая испарение воды через устьица. Животные также могут несколько понижать температуру своего тела за счет испарения воды через дыхательную систему и кожные покровы.

Возможность активного повышения температуры у растений крайне мала, а у пойкилотермных животных заметна лишь у наиболее подвижных видов. Так, у летающих насекомых вследствие усиленной работы мышц внутренняя температура может подниматься выше окружающей на $10\text{—}20^{\circ}\text{C}$ и более. У шмелей, саранчи и крупных бабочек она достигает во время полета $30\text{—}40^{\circ}\text{C}$, но с прекращением полета быстро снижается до уровня температуры воздуха.

Хотя у пойкилотермных организмов проявляется некоторая способность к терморегуляции, но она настолько несовершенна, что температура их тела зависит главным образом от тем-

температуры окружающей среды. Только у некоторых общественных насекомых, особенно у пчел, возник более эффективный способ поддержания температуры путем коллективной терморегуляции. Каждая отдельная пчела не способна сохранять постоянную температуру тела, но десятки тысяч пчел, составляющих семью, выделяют так много тепла, что в улье может поддерживаться постоянная температура $34 - 35^{\circ}\text{C}$, необходимая для развития личинок.

Наиболее совершенной терморегуляцией обладают птицы и млекопитающие, т. е. теплокровные животные. Способность поддерживать постоянную температуру своего тела — экологически очень важное приспособление, которое обеспечило значительную независимость высших животных от термических условий среды. У большинства птиц температура тела несколько выше 40°C , а у млекопитающих обычно несколько ниже. Она сохраняется на постоянном уровне независимо от колебаний температуры окружающей среды. Так, при морозах около -40°C температура тела песца составляет 38°C , а у белой куропатки 43°C , т. е. выше окружающей среды почти на 80°C . У примитивных австралийских млекопитающих — утконоса и ехидны — терморегуляция развита слабо, и температура их тела сильно зависит от окружающих условий (рис. 128). Несовершенна терморегуляция также у мелких грызунов и детенышей большинства млекопитающих.

Для существования животных в изменчивых условиях среды большое значение имеет не только способность к терморегуляции, но и поведение: выбор места с более благоприятной температурой, активность в определенное время суток, постройка специальных убежищ и гнезд в более благоприятном микроклимате и т. д. Так, летом многие обитатели степей и пустынь на жаркое время скрываются в норы, под камни, зарываются в песок, избегая перегрева. Весной и осенью, когда температура невысока, те же виды выбирают наиболее теплые, прогреваемые солнцем места.

Температура, как и световой режим, от которого она зависит, закономерно изменяется в течение года и в связи с географической широтой.

На экваторе температура, как и продолжительность дня, очень постоянна и круглый год держится на уровне, близком к 25°C . С удалением от экватора годовая амплитуда температуры увеличивается. При этом летняя температура с повыше-

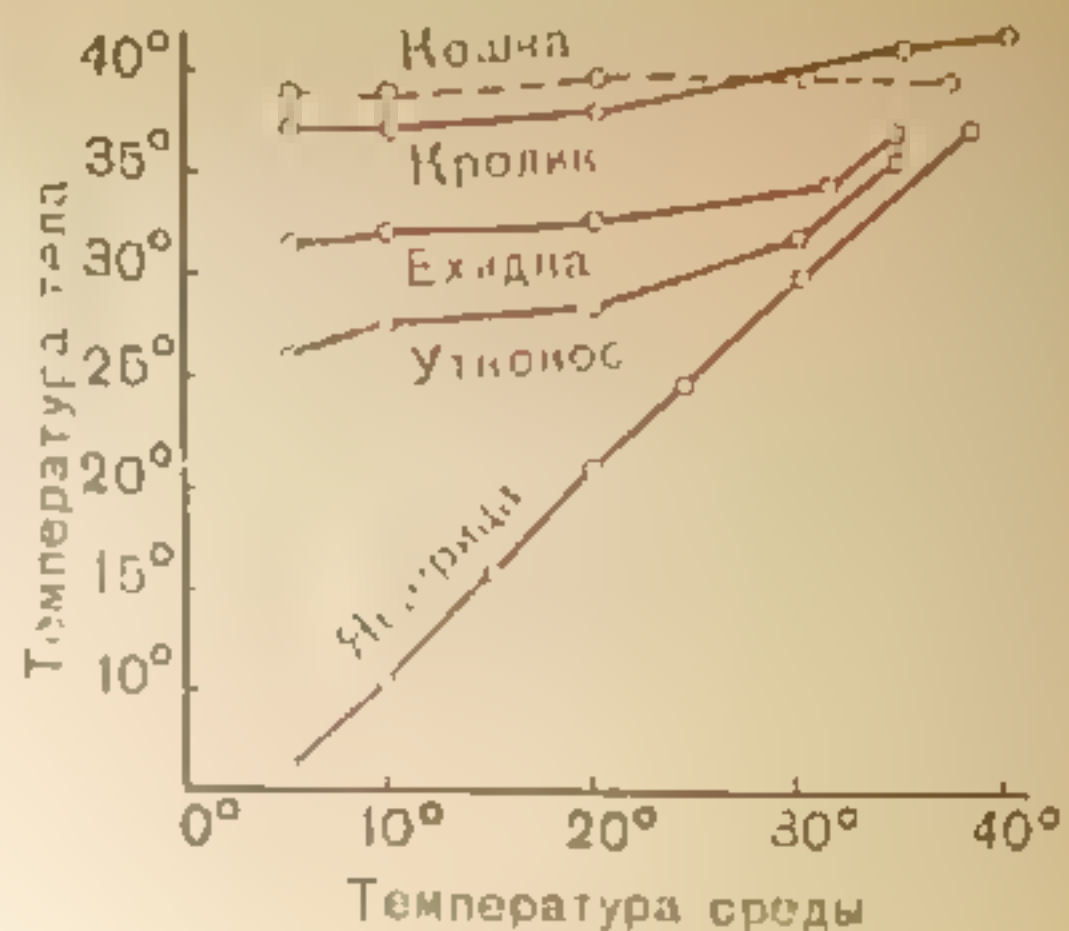


Рис. 128.

Зависимость температуры тела различных животных от температуры воздуха.

нием географической широты изменяется гораздо меньше, чем зимняя. Летом температура во всех пунктах остается в пределах обычной нормы. Следовательно, для существования животных и растений в климате умеренных и северных широт основное значение имеют приспособления не к температурным условиям лета, а к отрицательным температурам зимы.

Влажность. Вода играет исключительно важную роль в жизнедеятельности клетки. Поэтому поддержание водного баланса на достаточно постоянном уровне составляет одну из основных физиологических функций любого организма.

Роль влажности как экологического фактора для наземных организмов обусловлена тем, что осадки (а соответственно влажность воздуха и почвы) распределяются на земной поверхности в течение года очень неравномерно. Так как большинство наземных животных и растений влаголюбивы, то недостаток влажности часто оказывается причиной, ограничивающей их жизнедеятельность и географическое распространение.

Приспособления к недостатку влаги особенно ярко выражены у обитателей засушливых степей и пустынь.

У многолетних пустынных растений получение необходимого количества воды обеспечивается сильным развитием корневой системы, иногда очень длинной (у верблюжьей колючки до 16 м), достигающей влажного слоя, или чрезвычайно разветвленной, что позволяет собирать воду с большой площади.

Важным приспособлением служит также повышенное осмотическое давление клеточного сока (до 60—80 атм.), которое увеличивает сосущую силу корней и способствует удержанию воды в тканях. Поддержание баланса обеспечивается снижением испарения воды. Это достигается прежде всего изменением строения листа как основной испаряющей поверхности. У пустынных растений наблюдается утолщение кутикулы листа, развитие на ней воскового слоя или густого опушения. Очень характерно также уменьшение листовой пластинки, превращение листьев в колючки, а часто и полная потеря листьев (саксаулы, джузгун, тамариксы и др.). Фотосинтез у таких видов осуществляется зелеными стеблями. Своеобразно приспособление к сухости кактусов, солянок, агав, некоторых молочаев, которые способны накапливать в тканях большое количество воды и очень экономно ее расходовать.

Большинство животных пустыни может обходиться без питьевой воды; те же виды, которым она необходима, отличаются способностью к быстрому и продолжительному бегу (кулан, верблюды, антилопа, джейран, сайга), что позволяет им совершать дальние миграции на водопой. Источником влаги для грызунов, пресмыкающихся, насекомых и других мелких животных служит пища. При этом очень важную роль в поддержании водного баланса имеет так называемая метаболическая вода, образующаяся в организме при окислительных реакциях. Особенно много метаболической воды дает окисление жира (107 г воды на 100 г жира). Поэтому характерные для многих

обитате
своеобр
верблю
от поте
цаемост
ют так
тины и
духа, и
скрыва

Сов
наблюд
условия
стояние
новкой
вотных
тельной

Сос
дается
назем
пусты
мятлик
ной, со
ковиц

Нек
жарко
дают в
Покою
но отл
торые
собност

? 1.
ви
ки
не
ж

74.

Сез
явлени
ших у
и хоро
ные пр
торые
Сез
ную п
(рис. 1
ратуры

обитателей пустыни обильные жировые отложения служат своеобразным резервом воды в организме, например горб у верблюда, подкожные отложения жира у грызунов. Защитой от потерь воды испарением у животных служит малая проницаемость наружных покровов тела. Очень важную роль играют также особенности поведения: большинство обитателей пустыни избегает иссушающего действия низкой влажности воздуха, как и перегрева, переходя к ночному образу жизни или скрываясь в норах, полостях почвы или зарываясь в песок.

Совершенно иной тип приспособления к недостатку влаги наблюдается у многих растений и животных, обитающих в условиях периодической сухости. У них возникает особое состояние физиологического покоя, которое характеризуется остановкой роста и развития, резко сниженным обменом, а у животных также более или менее полным прекращением двигательной активности и питания.

Состояние покоя у многолетних растений часто сопровождается летним сбрасыванием листьев или полным отмиранием надземных частей. Последнее особенно типично для степных и пустынных эфемерных растений (тюльпаны, песчаные осоки, мятлики луковичный), которые быстро развиваются ранней весной, сохраняясь большую часть года в виде покоящихся луковиц или корневищ.

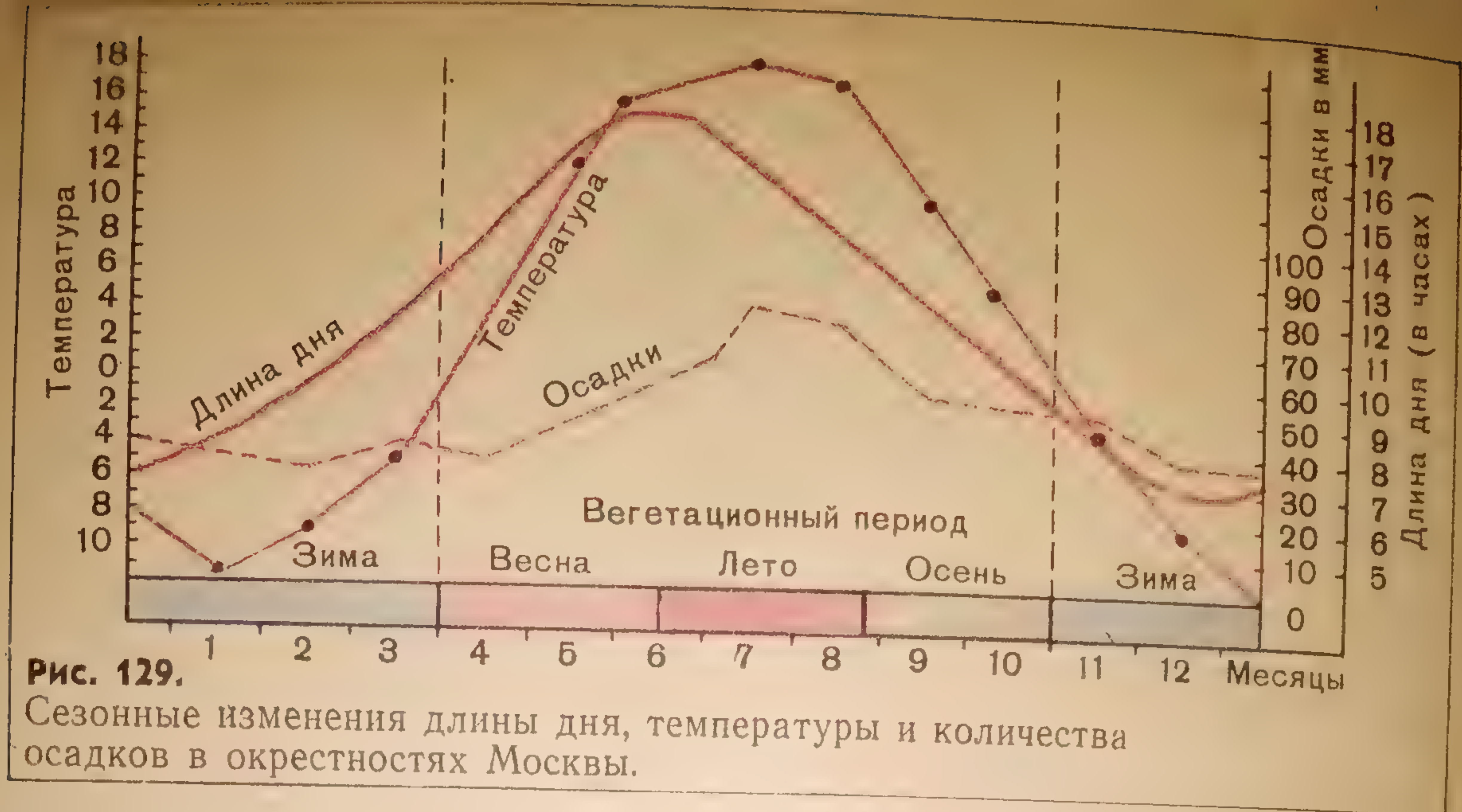
Некоторые пустынные грызуны и черепахи с наступлением жаркого и сухого периода, когда вымирает растительность, впадают в летнюю спячку, продолжающуюся несколько месяцев. Покоящиеся стадии насекомых и других беспозвоночных обычно отличаются пониженным содержанием воды в теле, а некоторые виды способны полностью высыхать, не теряя жизнеспособности.

- ? 1. В чем выражается биологическое воздействие ультрафиолетовых видимых и инфракрасных лучей на организм? 2. Какими путями пойкилотермные организмы приспосабливаются к неблагоприятным температурным условиям среды? 3. Приведите примеры приспособления животных и растений к недостатку влаги.

74. Приспособления растений и животных к сезонному ритму внешних условий

Сезонная периодичность относится к числу наиболее общих явлений в живой природе. Она особенно ярко выражена в наших умеренных и северных широтах. В основе внешне простых и хорошо знакомых нам сезонных явлений лежат очень сложные приспособительные реакции, ритмического характера, которые выяснены сравнительно недавно.

Сезонность в природе. В качестве примера возьмем сезонную периодичность в центральных районах нашей страны (рис. 129). Здесь ведущее значение имеет годовой ход температуры. Период, благоприятный для развития, продолжается



около шести месяцев. В течение этого срока проходит смена основных фенологических явлений в живой природе.

Признаки весны появляются, как только начинает сходить снег. Еще не распустив листья, зацветают некоторые ивы, ольха, лещина, на проталинах даже сквозь снег пробиваются ростки первых весенних растений; прилетают перелетные птицы, появляются перезимовавшие насекомые. Когда прекратятся регулярные ночные заморозки и среднесуточная температура устойчиво превысит 0, +5°C, начинается бурное развитие всей растительности.

В это время даже небольшие заморозки сильно повреждают растения, вызывают гибель многих насекомых. Это показывает, что большинство пойкилотермных организмов в состоянии активного роста и развития не способно переносить даже кратковременное действие отрицательной температуры, хотя зимой они выдерживали сильные морозы.

В середине лета, несмотря на очень благоприятную температуру и обилие осадков, рост деревьев и многих других растений замедляется или полностью прекращается. Значительно уменьшается количество цветущих растений. Заканчивается период размножения у птиц. Вторая половина лета и ранняя осень — период созревания плодов и семян у большинства растений и накопления питательных веществ в их тканях. В это время уже заметны признаки подготовки к зиме. Формируются зимующие почки и одревесневают побеги на деревьях; идет усиленный отток питательных веществ из листьев в стебли, корни и другие зимующие органы. У птиц и млекопитающих начинается осенняя линька; перелетные птицы сбиваются в стаи. Подготовка к зиме заканчивается отмиранием и опадением листьев растений, отлетом многих птиц, исчезновением насекомых и других беспозвоночных. Еще до наступления устойчивых морозов в природе уже наступает период зимнего покоя.

Состояние зимнего покоя. Холодостойкость. Состояние зимнего покоя особенно выражено у организмов, не способных поддерживать собственную температуру тела, т. е. у растений, всех беспозвоночных животных и низших позвоночных. Зимний покой не просто остановка развития, вызванная низкой температурой, а очень сложное специальное приспособление. У каждого вида состояние зимнего покоя наступает лишь на определенной стадии развития. Так, у растений (в зависимости от вида) зимуют семена, надземные части с покоящимися почками, а у некоторых травянистых растений — прикорневые розетки листьев. У очень многих зимуют лишь подземные части: корни, корневища, клубни или луковицы. Также на разных стадиях развития наступает зимний покой у различных насекомых. Например, малярийный комар и крапивница зимуют в стадии взрослого насекомого, капустница — в стадии куколки, непарный шелкопряд — в стадии яйца.

Зимующие стадии растений и животных имеют много сходных физиологических особенностей. Даже при повышенной температуре зимующие организмы обычно не развиваются и их рост у них сильно замедлен. Значительно снижена интенсивность обмена; например, дыхание семян едва уловимо, а покоящиеся стадии насекомых потребляют в несколько раз меньше кислорода, чем при активном развитии. Ткани организмов, находящихся в состоянии зимнего покоя, содержат много запасных питательных веществ, особенно жиров и углеводов, за счет которых поддерживаются процессы обмена в течение зимовки. Обычно уменьшается количество воды в тканях, особенно в семенах, зимних почках растений. В соках тела увеличивается содержание веществ, повышающих устойчивость зимующих организмов к замерзанию и защищающих цитоплазму от повреждения при температуре ниже 0°C. Благодаря всем этим особенностям покоящиеся стадии способны длительно переносить суровые условия зимовки. Стадия зимнего покоя служит одним из приспособлений пойкилотермных организмов к температурной сезонности климата умеренных и северных широт.

Наблюдения показывают, что морозостойкость растений и насекомых усиливается в течение зимы (рис. 130). Следовательно, организм в течение осени и зимы постепенно приспосабливается к снижению температур. Это явление называют холодным закаливанием. Первый этап происходит еще при положительных температурах между 0 и 6°C. При этом у растений часть воды в клетках переходит в коллоидное состояние, а крахмал превращается в сахара и жиры, что увеличивает морозостойкость. С наступлением небольших морозов (до —5°C) происходит второй этап закаливания. В это время в межклетниках образуются кристаллы льда, отнимающие свободную воду из клеток, которые благодаря этому свойству становятся более устойчивыми к сильным морозам.

Сходные явления закаливания наблюдаются у многих зимующих насекомых. При низкой температуре в их тканях об-

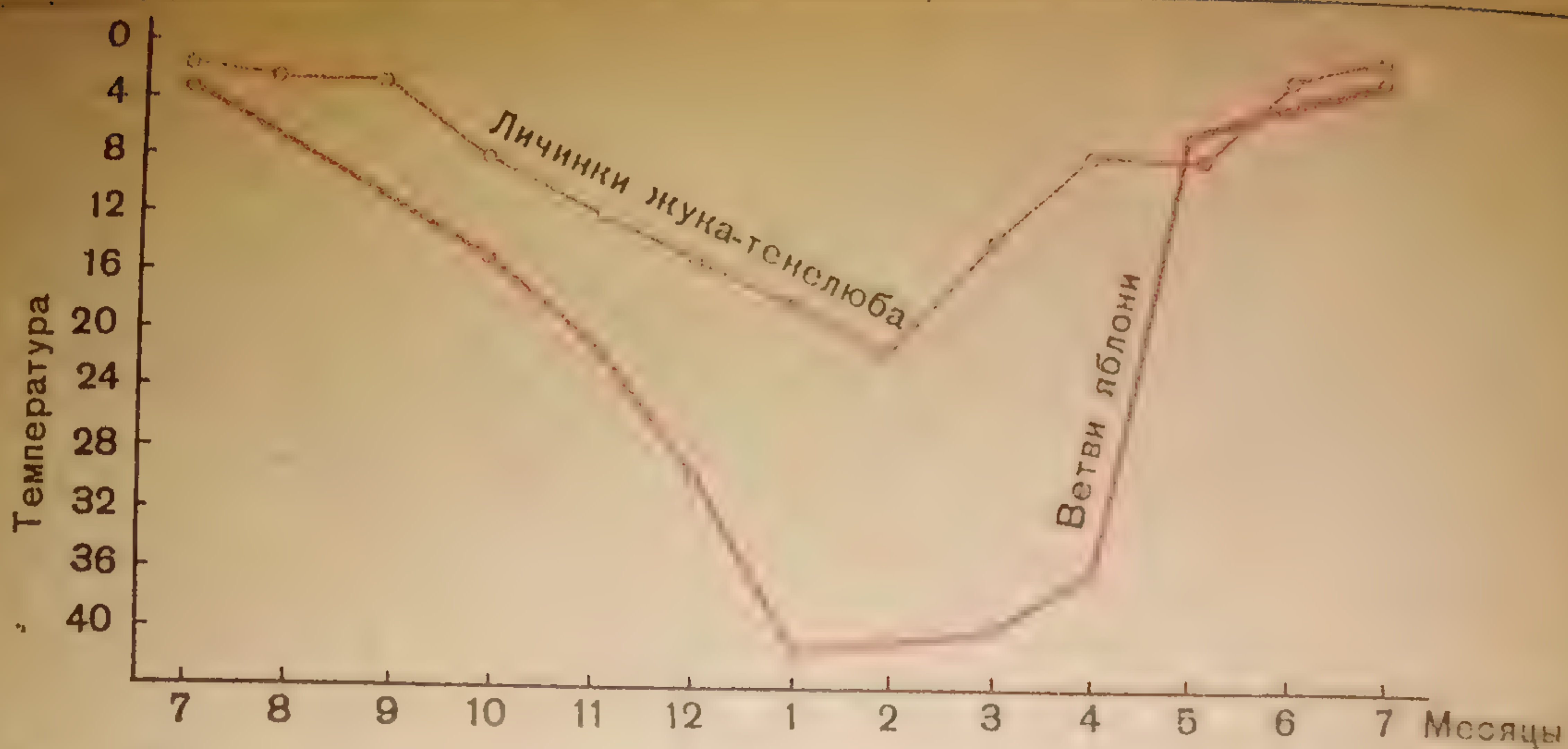


Рис. 130.

Изменение холодостойкости в течение зимовки.

разуется свободный глицерин, который препятствует промерзанию. Поэтому насекомые переживают зиму в переохлажденном, незамерзшем состоянии, а при образовании льда в клетках погибают. Так, куколки капустницы замерзают при температуре ниже $20-25^{\circ}\text{C}$, а личинки короеда-заболонника — при -53°C . Некоторые насекомые, например гусеницы кукурузного мотылька, даже после образования льда в клетках тела остаются живыми. В результате изучения морозостойкости и процессов закаливания удалось добиться выживания некоторых растений и животных при температуре ниже той, которая бывает на земле. Ветви березы и яблони после закаливания выдерживали температуру жидкого азота (-196°C), а смородина росла после пребывания в жидком водороде (-253°C). Семена многих растений сохраняют всхожесть после охлаждения до температуры, близкой к абсолютному нулю. Такой же устойчивостью отличаются споры бактерий. Некоторые виды насекомых переносили температуру до -196°C .

При таких низких температурах обмен веществ в организме невозможен. Следовательно, глубокое охлаждение вызывает временную обратимую остановку жизни. Такое состояние обратимой остановки жизненных процессов называют *анабиозом*.

Приспособление к зимовке у теплокровных. У позвоночных животных — птиц и млекопитающих — состояние полного анабиоза вызвать не удастся. Они совершенно не выдерживают замерзания и не приспособлены к переохлаждению. Поэтому у них выработались иные приспособления к зимнему времени года. Одним из них является осенняя линька. У млекопитающих летняя шерсть сменяется более густой и длинной, с обильным подшерстком, а у птиц образуется пух. Это уменьшает теплоотдачу и облегчает поддержание постоянной температуры тела. Часто при осенней линьке меняется окраска с темной на светлую или даже белую, менее заметную зимой (заяц-беляк, белка, ласка, горностай, полярная куропатка и др.).

Малая теплопроводность зимнего меха и оперения позволяет многим видам сохранять активность в течение холодного времени года. Зимняя активность возможна лишь у тех видов зверей и птиц, которые могут прокормиться в это время. Но так как пищевые и температурные условия зимой неблагоприятны, то даже у таких видов размножение обычно прекращается.

Животные, для которых корма зимой недостаточно, впадают в спячку (летучие мыши, многие грызуны, барсуки, медведи). Состояние спячки очень похоже на зимний покой пойкилотермных организмов. При спячке также резко снижаются все процессы обмена. У водоплавающих, насекомоядных и многих других птиц, которые не могут прокормиться зимой, возникли сезонные миграции. Некоторые виды, например грачи, дрозды, снегيري, откочевывают недалеко от мест гнездования — в районы с менее суровой зимой. Другие совершают дальние перелеты, иногда на тысячи километров — до тропических стран или даже в южное полушарие.

75. Факторы, управляющие сезонным развитием Фотопериодизм

У растений и животных в течение года происходят глубокие изменения физиологического состояния, связанные с сезонной сменой климатических условий. У каждого вида выработался в процессе естественного отбора характерный для него годичный цикл с определенной последовательностью и длительностью периодов интенсивного роста и развития, размножения, подготовки к зиме и зимовки. Совпадение каждой из фаз жизненного цикла с временем года, к условиям которого эта фаза приспособлена, имеет решающее значение для существования вида. Если, например, морозостойкие покоящиеся стадии не сформируются к зиме, то такие особи неизбежно погибнут.

Наиболее заметна связь всех фенологических явлений с сезонным ходом температуры. Но хотя температура действительно влияет на скорость многих жизненных процессов, все же не она служит главным регулятором сезонных явлений в природе. Весной и осенью при одинаковой температуре фенологические явления имеют противоположную направленность. Подготовка к зиме всегда происходит заблаговременно и часто начинается еще летом, когда температура достаточно высока. Если выращивать сеянцы березы или других древесных пород в оранжерее при постоянно высокой в течение года температуре, но при естественно изменяющемся освещении, то осенью они впадают в состояние покоя и сбрасывают листья. Озимые злаки в таких условиях не колосеют. Насекомые при высокой температуре впадают в зимующее состояние, а у птиц наступает линька и появляется стремление к перелету. Следовательно, какие-то другие условия, а не температура влияют на сезонное состояние организма.

Рис. 131.



2



Влияние длины дня на
рост сеянцев березы:

1 — содержащиеся при не-
прерывном освещении не
впадают в состояние покоя
и не сбрасывают листьев;
2 — при коротком дне пре-
кращается рост и сеянцы
сбрасывают листья.

В регуляции сезонных циклов у большинства растений и животных главная роль принадлежит изменениям продолжительности дня. Реакция на продолжительность дня получила название *фотопериодизма*.

Значение фотопериодизма видно из опыта, показанного на рисунке 131. При искусственном круглосуточном освещении или продолжительности дня более 15 ч сеянцы березы растут непрерывно, не сбрасывая листьев. Но при освещении 10 или 12 ч в сутки рост сеянцев даже летом прекращается, и вскоре происходит сбрасывание листьев и наступает зимний покой, как под влиянием короткого осеннего дня. Многие наши листопадные древесные породы — ива, белая акация, дуб, граб, бук — при длинном дне также становятся вечнозелеными.

Продолжительность дня определяет не только наступление зимнего покоя, но и другие сезонные явления у растений. Так, длинный день способствует образованию цветков у большинства наших дикорастущих растений. Такие растения называются *длиннодневными*. Из культурных к ним относятся рожь, овес, большинство сортов пшеницы и ячменя, лен. Однако некоторые растения, преимущественно южного происхождения, например хризантемы, георгины, для цветения нуждаются в коротком дне. Поэтому они зацветают у нас лишь в конце лета или осенью, когда сокращается день. Растения такого типа называются *короткодневными*.

Так же сильно сказывается влияние длины дня и на животных. У насекомых и клещей длина дня обуславливает наступление зимнего покоя. Так, при содержании гусениц капустницы в условиях длинного дня (более 15 ч света) из куколок вскоре выходят бабочки и без перерыва развивается последовательный ряд поколений. Но если гусениц содержать при дне короче 14 ч, то даже весной и летом получают зимующие куколки, которые не развиваются в течение не-

скольких месяцев, несмотря на достаточно высокую температуру. Подобный тип реакции объясняет, почему в природе летом, пока день длинный, у насекомых может развиваться несколько поколений, а осенью развитие всегда останавливается на зимующей стадии.

У большинства птиц весенний удлиняющийся день вызывает развитие половых желез и возникновение гнездовых инстинктов. Осеннее сокращение дня вызывает линьку, накопление запасных жиров и стремление к перелету.

Таким образом, *фотопериодизм является общим, важным приспособлением, регулирующим сезонные явления у разных различных организмов.*

Почему именно сезонные изменения длины дня приобрели такое большое значение в жизни растений и животных? Поясним это на примере формирования зимующих стадий. Они специально приспособлены к переживанию холодного времени года. Но подготовка к зимнему покою требует длительного времени для физиологической перестройки организма и накопления необходимого запаса в тканях питательных веществ. Поэтому она должна начинаться задолго до наступления холодов. Следовательно, для организма необходим заблаговременный и точный сигнал о приближении зимы.

Изменение длины дня всегда тесно связано с годовым ходом температуры и предшествует ее изменению; вслед за укорочением дня понижается и температура. В течение года длина дня изменяется строго закономерно и не подвержена случайным колебаниям, как другие экологические факторы. Поэтому она служит астрономически точным предвестником сезонных изменений температуры и других внешних условий. Это объясняет, почему в самых разных группах организмов в процессе эволюции независимо выработались специальные фотопериодические реакции, управляющие сезонным развитием. Для организмов изменение длины дня служит как бы астрономическим календарем, в соответствии с которым определяются сроки размножения, роста и подготовки к зиме.

Для возобновления развития зимующих растений, насекомых и других организмов обычно необходимо длительное пребывание на холоде. В течение зимовки в организме происходят внутренние физиологические процессы, в результате которых снова становится возможным интенсивное развитие. Процесс физиологического преодоления зимнего покоя скорее проходит в условиях низких, но положительных температур (от 0° до 10° C) и тормозится отрицательными, а также высокими температурами. Для преодоления покоя каждый вид нуждается в определенной длительности и глубине зимнего охлаждения. В результате протекающих на холоде процессов перезимовавшие растения и животные оказываются уже готовыми к интенсивному развитию весной.

«Биологические часы». Изучение фотопериодизма растений и животных показало, что реакция организмов на свет основа-

на не просто на количестве получаемого света, а на чередовании в течение суток периодов света и темноты определенной длительности. Реакция организмов на продолжительность дня и ночи показывает, что они способны измерять время, т. е. обладают какими-то «биологическими часами». Сейчас уже доказано, что способностью измерять время обладают все виды живых существ — от одноклеточных до человека.

«Биологическими часами», кроме сезонных циклов, управляют также многие другие биологические явления. Природа которых еще недавно оставалась загадочной. Они определяют правильный суточный ритм активности как целых организмов, так и процессов, происходящих внутри клеток, в частности клеточных делений. О способности измерять время говорят опыты с выработкой условных рефлексов у животных на определенное время суток. Даже пчел легко приучить прилетать к кормушке с сахарным сиропом в определенное время.

Управление сезонным развитием животных и растений. Выяснение роли длины дня в регуляции сезонных явлений открывает большие возможности для управления развитием растений и животных.

Приемы управления развитием, основанные на действии определенного светового и температурного режимов, уже получили широкое практическое применение в разных отраслях растениеводства. Они используются при круглогодичном выращивании на искусственном свете овощных культур и декоративных растений, при зимней и ранней выгонке цветов, для ускоренного получения рассады.

Предпосевной холодовой обработкой (яровизацией) достигают колошения озимых культур при весеннем посеве, а также цветения и плодоношения уже в первый год многих двулетних растений. Давно применяют холодовую обработку семян древесных и кустарниковых пород для нарушения покоя и ускорения прорастания. Специальные приемы разработаны и в животноводстве. Так, удлиняя день искусственным освещением, достигают увеличения яйценоскости у кур и особенно у гусей и уток.

1. В чем выражаются приспособления к перенесению зимних условий у растений и животных? 2. Приведите примеры фотопериодизма у растений и животных. 3. Что вы знаете о «биологических часах» и какие их проявления вы замечали? 4. Когда и в какой последовательности прилетают и улетают птицы в вашей местности?

76. Пищевые взаимоотношения организмов и экологические системы

В природе виды животных и растений распределяются не случайно, а всегда образуют определенные, сравнительно постоянные комплексы — сообщества. Мы их хорошо различаем в обыденной жизни, называя лесом, лугом, болотом, степью.

294 Состав таких сообществ обусловлен не только сходством по-

требностей входящих в них видов к физическим условиям мест обитания, но и тесной зависимостью друг от друга. Такая взаимозависимость возникает прежде всего на основе пищевых связей и способов получения энергии, необходимой для жизненных процессов.

По способу получения и использования питательных материалов и энергии все организмы, как нам известно (стр. 161), разделяются на две резко различные группы: автотрофы и гетеротрофы. В процессе питания гетеротрофы в конечном счете разлагают органическое вещество до углекислоты, воды и минеральных солей, т. е. веществ, пригодных для повторного использования автотрофами.

Таким образом, в природе возникает непрерывный круговорот биогенных веществ: необходимые для жизни химические вещества извлекаются автотрофами из окружающей среды и через ряд гетеротрофов вновь в нее возвращаются. Для осуществления этого процесса необходим постоянный приток энергии извне. Его источником служит лучистая энергия Солнца, которая трансформируется зелеными растениями при фотосинтезе в химическую энергию синтезируемых органических соединений.

Круговорот веществ возник в процессе эволюции как необходимое условие существования жизни.

Если движение вещества, вызванное деятельностью организмов, происходит циклически и оно может быть использовано вновь и вновь, то энергия в этом процессе представлена однонаправленным потоком. Лучистая энергия Солнца лишь трансформируется организмом в другие формы: световая — в химическую, механическую и, наконец, в тепловую. В соответствии с законами термодинамики такие превращения всегда сопровождаются рассеиванием энергии в форме тепла, недоступного для дальнейшего использования.

Односторонне направленный поток энергии и круговорот веществ представляют наиболее общее условие, на котором основана деятельность и взаимоотношения всех живых существ в природе.

Цепи питания. Если общая схема круговорота веществ сравнительно проста, то в реальных условиях природы этот процесс принимает очень сложные формы. Ни один вид гетеротрофных организмов не способен сразу разложить органическое вещество растений до конечных минеральных продуктов. Каждый вид использует лишь часть содержащейся в органическом веществе энергии доводя его лишь до определенной стадии. Не пригодные для данного вида, но еще богатые энергией остатки используются другими организмами.

Таким образом, в процессе эволюции сложились устойчивые цепи взаимосвязанных видов, последовательно извлекающих материалы и энергию из исходного пищевого вещества.

Примеры пищевых цепей можно видеть всюду. Самый простой случай мы наблюдаем, когда травоядные животные

Рис. 132.

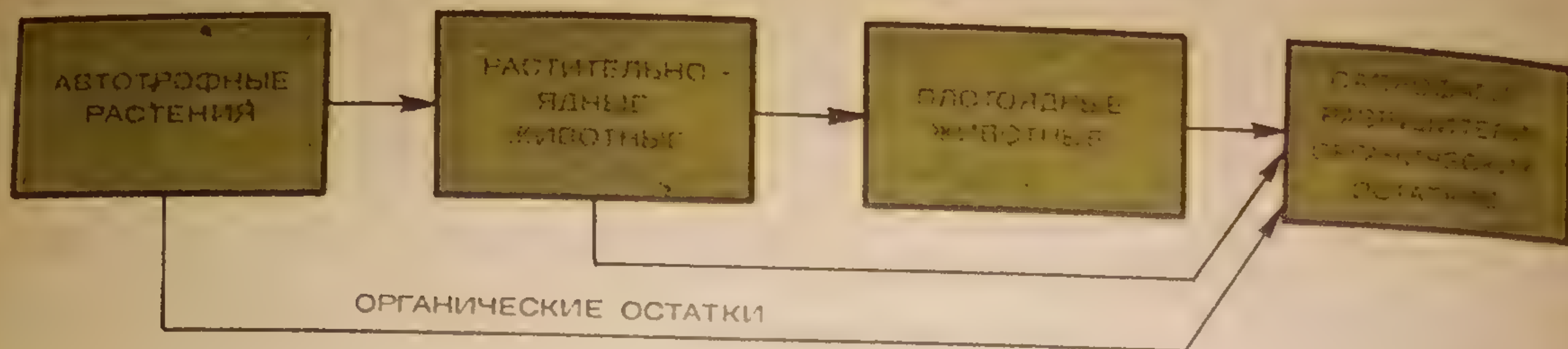


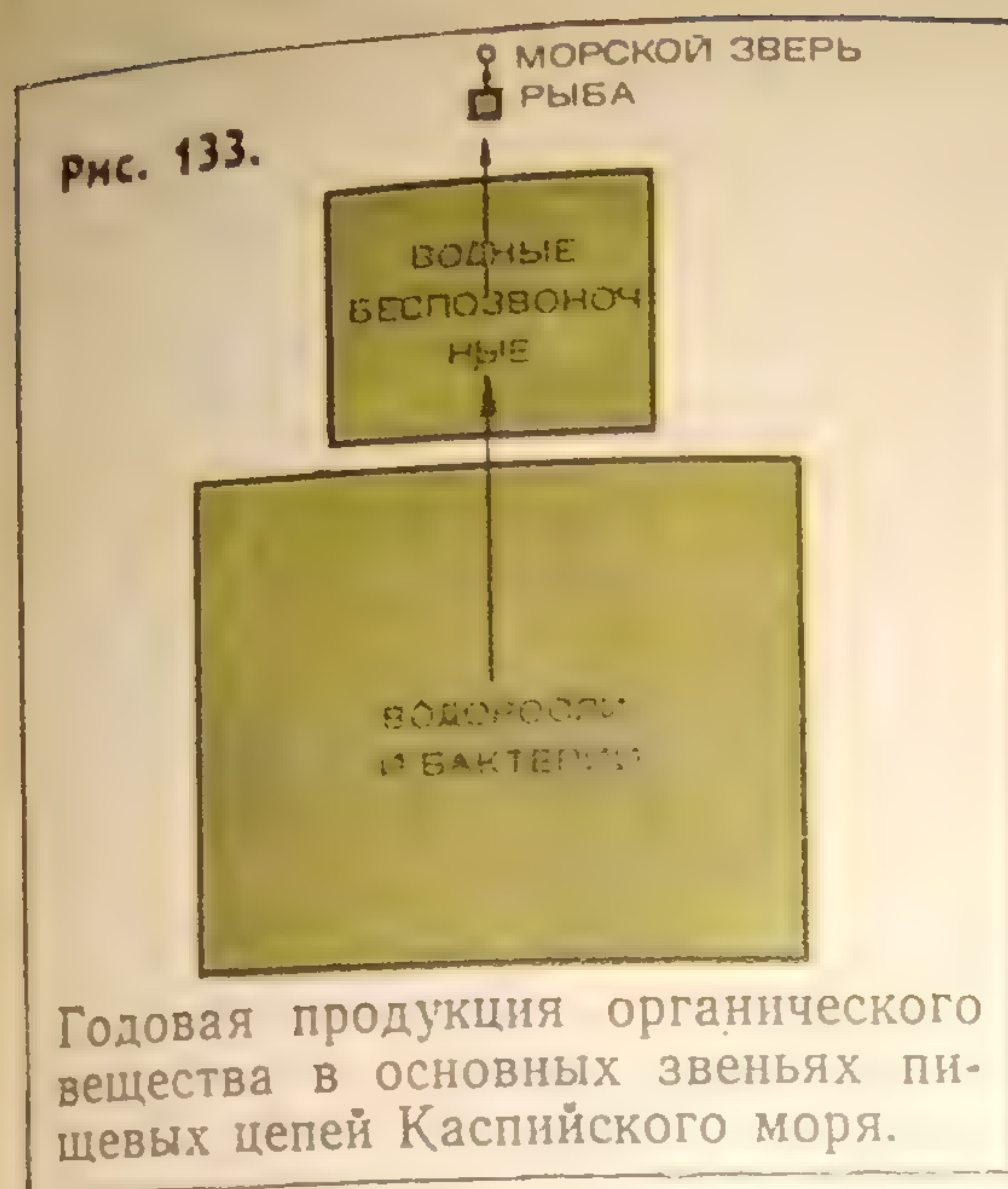
Схема пищевой цепи.

поедают растения, а выделениями животных и их трупами питаются различные навозные и трупоядные насекомые и гнилостные микроорганизмы. Но в естественной обстановке цепи состоят из большего числа звеньев, так как в них включаются плотоядные животные — хищники и паразиты. Пищевые взаимоотношения в цепях усложняются также тем, что не всегда виды узко приспособлены к одному типу пищи; часто встречаются многоядные виды, которые могут питаться как растениями, так и животными.

Следует иметь в виду также, что органические остатки образуются в результате жизнедеятельности всех членов цепи. Следующая схема (рис. 132) показывает связи между организмами в цепи питания.

Потери энергии в цепях питания. Все виды, образующие пищевую цепь, существуют за счет органического вещества, построенного зелеными растениями. При этом действует важная закономерность, связанная с эффективностью использования и превращения энергии в процессе питания. Сущность ее заключается в следующем.

Лишь около 1% лучистой энергии Солнца, падающей на растение, превращается в потенциальную энергию химических связей синтезированных органических веществ и может быть использовано в дальнейшем при питании гетеротрофными организмами. Когда животное поедает растение, то большая часть энергии, содержащейся в пище, расходуется на различные процессы жизнедеятельности, превращаясь при этом в тепло и рассеиваясь; только 5—20% энергии пищи переходит во вновь построенное вещество тела животного. Если травоядное животное поедает хищник, то снова теряется большая часть заключенной в пище энергии. Вследствие таких больших потерь полезной энергии цепи питания не могут быть очень длинными; обычно они состоят не более чем из 4—5 звеньев (пищевых уровней).



В результате потерь энергии количество образующегося органического вещества в каждом последующем пищевом уровне резко уменьшается. Так, если округленно принять, что в вещество тела животного переходит в среднем 10% энергии, заключенной в съеденной пище, то, очевидно, за счет 1 т растительной массы может образоваться лишь 100 кг массы тела травоядного животного, а за счет последней лишь 10 кг массы тела хищников. Реальные соотношения могут быть и иными, так как коэф-

фициент использования энергии неодинаков у разных видов. Но всегда количество растительного вещества, служащего основой цепи питания, в несколько раз больше, чем общая масса растительноядных животных, а масса каждого из последующих звеньев пищевой цепи также прогрессивно уменьшается (рис 133). Эту очень важную закономерность называют правилом экологической пирамиды. Она в большой мере определяет численные соотношения особей разных видов животных в природе.

Биоценоз. Пищевые цепи составляют основу взаимосвязей в живой природе. Сложные взаимоотношения в них поддерживаются благодаря разносторонней приспособленности организмов разных видов друг к другу и к окружающим условиям неживой среды.

Цепи питания в каждом природном участке составлены своими комплексами видов, образующими вместе с окружающей физической средой самоподдерживающуюся систему, в которой осуществляется круговорот веществ. Такие устойчивые экологические системы называются биоценозами. Лес, луг, водоем с их населением, степь и другие естественные группировки представляют собой примеры биоценозов.

Все биоценозы имеют сходную структуру (рис. 134). Основу их составляют зеленые растения — производители живого вещества. Обязательно присутствуют растительноядные и плотоядные животные — потребители живого органического вещества — и, наконец, разрушители органических остатков — преимущественно микроорганизмы, которые доводят распад органического вещества до простых минеральных соединений. В биоценозе каждый из этих трех главных пищевых уровней образован многими видами.

Для характеристики состава биоценоза и количественного анализа происходящих в нем процессов основное значение имеют следующие показатели.

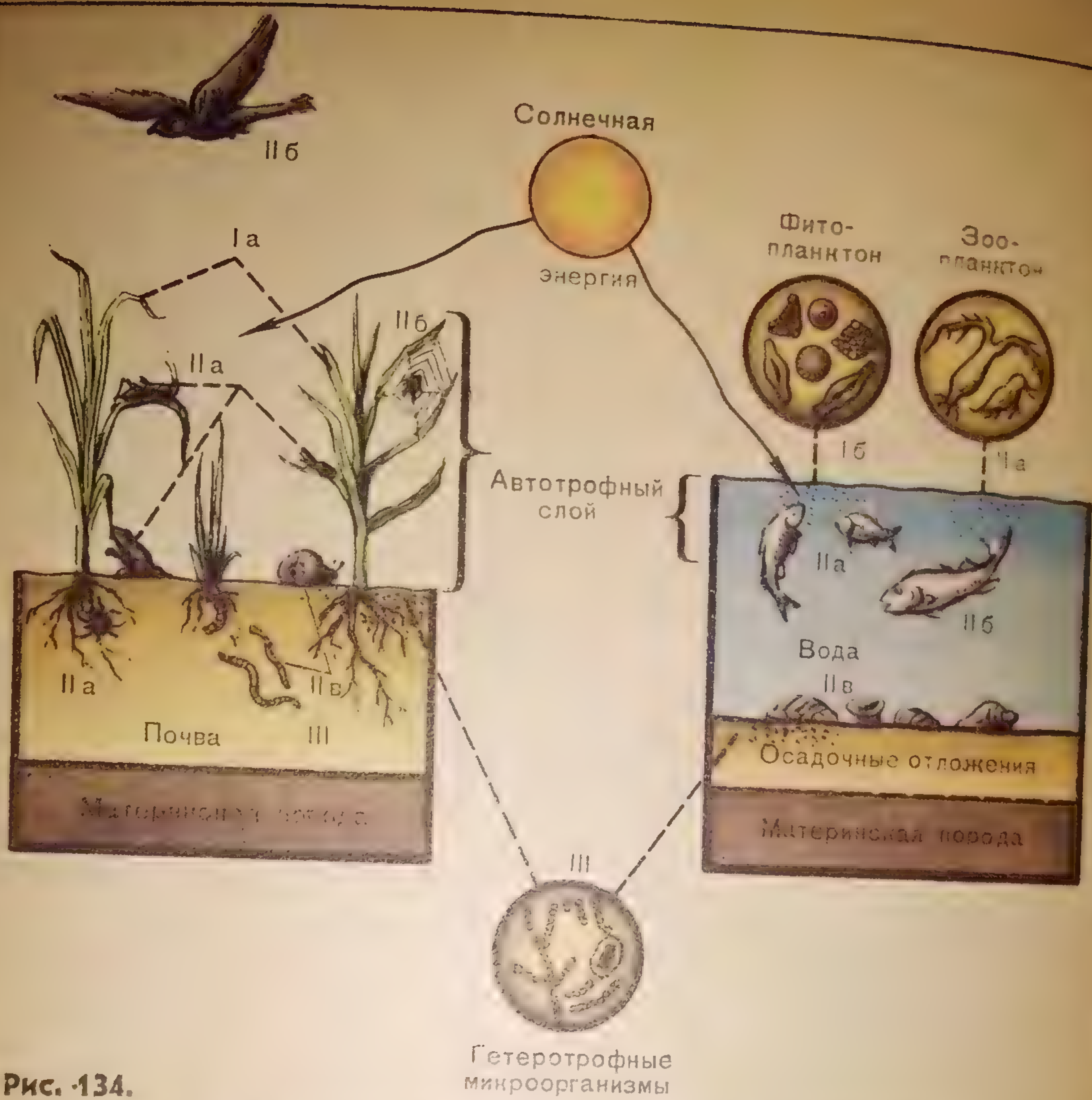


Рис. 134.

Сравнение общей структуры наземного и водного биоценозов:

I — растения, производящие органическое вещество: а — высшие растения, б — водоросли; II — животные потребители органического вещества: а — растительноядные, б — плотоядные, в — питающиеся смешанной пищей; III — микроорганизмы — разрушители органического вещества.

Видовое разнообразие — число видов растений и животных, образующих данный биоценоз и разные пищевые уровни в нем.

Численность видовых популяций, т. е. количество особей данного вида, отнесенное к единице площади.

Биомасса — общее количество органического вещества и заключенной в нем энергии всей совокупности особей, составляющих отдельные видовые популяции, пищевой уровень или весь биоценоз. Биомассу обычно выражают в весовых единицах в пересчете на сухое вещество на 1 га. Однако для оценки энергетических процессов в биоценозе ее удобнее выражать в единицах энергоемкости. При расчете исходят из следующего: полное окисление (сжигание) 1 г углеводов и белков дает около 16,8 кдж (4 ккал), а жиров — 37,7 кдж (9 ккал), в среднем в 1 г сухого растительного вещества содержится 16—20 кдж (4—4,5 ккал), в животном веществе — около 21 кдж (5 ккал).

момент, в большой мере зависит от особенностей биологии животного или растения. У быстро отмирающих видов, например микроорганизмов, биомасса обычно невелика по сравнению с долгоживущими видами, накапливающими в тканях большие количества органического вещества (например, древесные породы).

Биологическая продуктивность, т. е. скорость образования биомассы, — наиболее важный показатель энергии жизнедеятельности отдельных видов и экологической системы в целом. Ее выражают в граммах органического вещества с единицы площади за год. Понятно, что основное значение имеет скорость синтеза органического вещества автотрофными растениями, которую называют первичной продуктивностью. Вторичная продуктивность выражает скорость образования биомассы гетеротрофами.

Природные биоценозы очень сложны. В них всегда имеется много параллельных и сложно переплетенных цепей питания, а общее число видов часто измеряется сотнями и даже тысячами. Поэтому некоторые механизмы, поддерживающие целостность биоценоза и его устойчивость, удобнее рассмотреть на такой простой модели, как аквариум.

Аквариум как модель экологической системы. Каждый, кто держал дома рыб, знает, что они просто в сосуде с водой даже при регулярном кормлении долго существовать не могут. Уже по их поведению можно видеть, что условия в аквариуме быстро ухудшаются. Возникающий вследствие дыхания рыб недостаток растворенного в воде кислорода и избыток углекислоты заставляют рыб держаться у поверхности. Вода, загрязненная остатками пищи и выделениями рыб, мутнеет и загнивает.

Этот пример хорошо иллюстрирует важное общее положение: организм, извлекая из среды необходимые для него вещества и выделяя вредные продукты обмена, неизбежно ухудшает условия собственного существования, если не происходит постоянного пополнения необходимых веществ и удаления вредных.

Обстановка в аквариуме существенно меняется при посадке в него водных растений. Если рыба способна довольствоваться растительной пищей, то мы получаем простую экологическую систему, члены которой оказывают благоприятное влияние друг на друга.

Рыбы питаются органическим веществом, синтезированным растениями, а при дыхании поглощают O_2 и выделяют необходимый для растений CO_2 .

Растение в процессе фотосинтеза поглощает из воды CO_2 и выделяет O_2 , необходимый для дыхания рыб.

Но такая элементарная система еще очень неустойчива. Неиспользованные остатки пищи и продукты выделения рыб непригодны для усвоения растениями. Поэтому в систему внедряются сапрофитные бактерии, а иногда и грибки, питающиеся органическими остатками. Размножаясь в массе, они вызы-

вают помутнение воды и образование на растениях и стенках аквариума слизистой пленки. Это затрудняет фотосинтез растений и дыхание рыб.

Чтобы устранить подобные нежелательные явления и повысить устойчивость системы, необходимо ввести в нее недостающие звенья пищевой цепи. Важное место среди них занимают питающиеся бактериями инфузории, а также моллюски; порослями и различными органическими остатками, очищают растения и стенки аквариума, вода становится прозрачной. Если воду не менять и не допускать ее загрязнения пылью, то в аквариуме постепенно складывается система, способная довольно долго сохранять относительно равновесное состояние.

Несмотря на кажущуюся простоту, эта система состоит из большого числа видов. Кроме рыб, моллюсков и высших растений, здесь присутствует не менее двух-трех десятков видов микроорганизмов: простейших, водорослей, грибов, бактерий.

В населении аквариума можно обнаружить все основные группы, характерные для биоценоза. Производители органического вещества — автотрофы — представлены высшими водными растениями и водорослями. Гетеротрофы — потребители живого вещества — представлены рыбами, отчасти моллюсками и простейшими. Наконец, разрушителями уже использованного или отмирающего органического вещества являются некоторые грибки и бактерии, которые последовательно разлагают органические остатки, доводя их до соединений, пригодных для усвоения растениями. Таким образом, в аквариуме в известной мере устанавливается круговорот веществ. Все же он здесь неполон, что можно видеть по всегда накапливающимся на дне органическим остаткам.

В аквариуме проявляется важная черта биоценоза — саморегуляция. Обитающие в нем виды не уничтожают полностью друг друга, а лишь взаимно ограничивают численность особей. Это относится главным образом к микроорганизмам. Механизм регуляции численности состоит в следующем. На органических остатках размножаются бактерии. С увеличением их количества создаются благоприятные условия для быстрого размножения инфузورий. Они уничтожают бактерий, и когда последних остается мало, то из-за недостатка пищи снижается численность инфузورий; это снова позволяет размножиться бактериям. Такие колебания повторяются непрерывно и иногда принимают очень правильный характер, например сопряженные колебания численности инфузورий туфельки и дрожжевого грибка, которым она питается (рис. 135). В сложных, многокомпонентных системах колебания численности отдельных видов обычно сглаживаются или становятся неправильными.

Таким образом, в экологической системе регуляция численности совместно обитающих видов происходит «автоматически» и основана на принципе обратной связи. Чем более приспособлены виды друг к другу, тем устойчивее система.

Чтобы виды могли существовать совместно, необходимо определенное соотношение скорости размножения хищника и жертвы. В аквариуме, например, при усиленном освещении вода нередко «зацветает», т. е. слишком быстро размножаются водоросли и их не успевают уничтожать другие организмы. Наблюдается иногда и резкое увеличение численности бактерий.

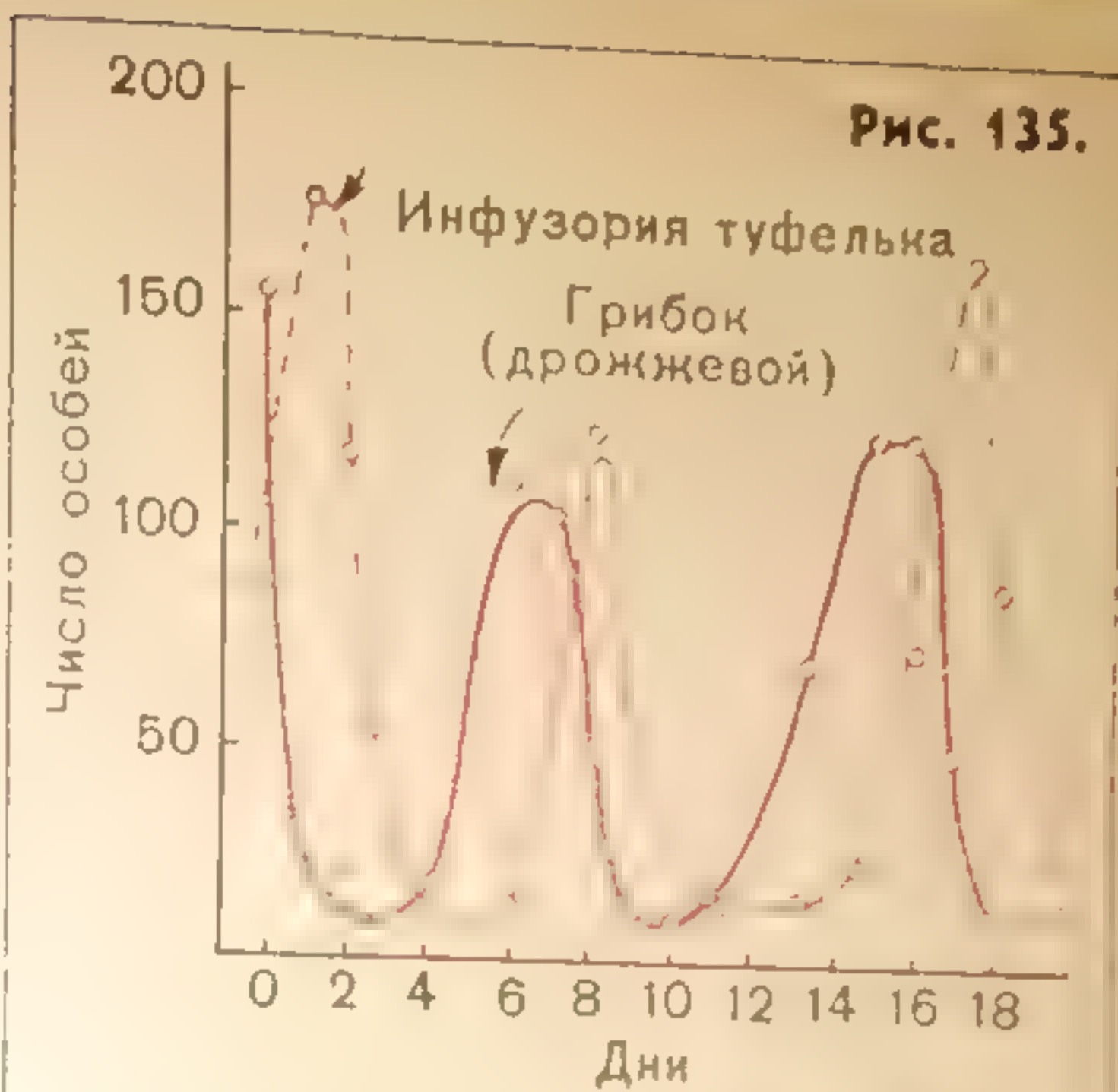
На примере аквариума можно видеть и значение ограничивающих факторов (стр. 280).

Экологическая система даже в самом хорошем аквариуме остается неполной. В ней не хватает необходимого большинства рыб животного корма. Приходится вносить извне дафний, мотыля и т. д.

Почему не удастся включить дафний в эту экологическую систему и создать полную пищевую цепь, в которой рыбы были бы постоянно обеспечены живым кормом? Основная причина в том, что в небольшом объеме аквариума рыбы уничтожают дафний быстрее, чем они размножаются. Следовательно, главные звенья пищевой цепи здесь численно не сбалансированы. Поэтому в аквариуме корм всегда является ограничивающим фактором для рыб.

Если давать корма достаточно, то количество рыб, которое можно содержать в данном аквариуме, будет ограничиваться уже другим фактором — количеством кислорода. Биологическую емкость аквариума можно увеличить, продувая через воду воздух.

Знакомство с явлениями, происходящими при формировании аквариума, дает представление об экологической системе, отдельные живые компоненты которой связаны между собой, зависят друг от друга и от абиотических факторов среды. Теперь можно перейти к рассмотрению более сложных экологических систем (биоценозов), создающихся в природе.



Сопряженные колебания численности инфузории туфельки и ее жертвы — дрожжевого грибка.

- ? 1. Расскажите, что такое цепи питания. Приведите примеры. 2. Что такое «биологическая продуктивность»? Иллюстрируйте это понятие конкретными примерами. 3. Что такое биоценоз? Приведите примеры природных биоценозов. 4. Как регулируется численность совместно обитающих видов в экологических системах?

77. Природные экологические системы

1. Биоценоз пресноводного водоема. Любой природный водоем, например озеро или пруд с их растительным и животным населением, представляет собой самостоятельную экологическую систему, или *биоценоз*. Эта природная система обладает гораздо более совершенной саморегуляцией и способностью к непрерывному самовоспроизводству. Биоценоз природных водоемов несравненно богаче и разнообразнее нашей модели.

Виды растений и животных, населяющие водоем, распределены в нем неравномерно. Каждый вид встречается в тех условиях, к которым он наиболее приспособлен. Поэтому в разных участках водоема образуются довольно постоянные и характерные для них видовые комплексы — сообщества растений и животных, члены которых теснее связаны между собой, чем с другими. Природные экологические системы всегда состоят из многих соподчиненных видовых группировок (сообществ), которые можно назвать биоценозами второго порядка. Наиболее разнообразные и благоприятные для жизни условия создаются в прибрежной зоне. Здесь вода теплее, так как прогревается солнечными лучами, и достаточно насыщена кислородом. Обилие света, проникающего до дна, обеспечивает развитие многих высших растений, образующих часто густые прибрежные заросли. Многочисленны и мелкие водоросли. В прибрежной зоне обитает и большинство животных. Одни приспособились к жизни на водных растениях, другие активно плавают в толще воды: рыбы, хищные жуки-плавунцы и водяные клопы. Многие обитают на дне: перловицы, беззубки, личинки некоторых насекомых (ручейников, стрекоз, поденок), ряд червей и т. п. Даже поверхностная пленка воды служит местом обитания специально приспособленных к ней видов. В тихих заводях можно видеть бегающих по поверхности воды хищных клопов-водомеров и быстро плавающих кругами жуков-вертячек. Обилие пищи и другие благоприятные условия привлекают в прибрежную зону рыб.

В глубоких природных участках водоема, куда уже почти не проникает солнечный свет, жизнь гораздо беднее и однообразнее. Фотосинтезирующие растения здесь не могут существовать. Нижние слои воды вследствие слабого перемешивания остаются холодными и содержат мало кислорода. К этим условиям приспособились лишь немногие виды животных, главным образом малощетинковые черви и личинки комаров-мотылей, которые обитают в иле, питаются органическими остатками и микрофлорой — бактериями и грибами.

Особые условия создаются в толще воды открытых участков водоема. Эта кажущаяся чистой вода заселена массой мельчайших растительных и животных организмов, которые сосредоточены в верхних, более прогреваемых и хорошо освещаемых слоях воды. Здесь развиваются различные микроскопические водоросли; водорослями и бактериями питаются много-

численные простейшие — инфузории, а также коловратки. Обильны здесь и мелкие рачки. Весь этот комплекс мелких взвешенных в воде организмов называют планктоном.

В круговороте веществ и в жизни водоема планктону принадлежит очень важная роль, и часто он является основным производителем органического вещества.

Пищевые связи и регуляция. Рассмотрим, за счет чего существует и как поддерживается система обитателей водоема. Рисунок 136 показывает, что все население водоема прямо или косвенно связано между собой пищевыми взаимоотношениями.

На схеме прослеживаются цепи питания, состоящие из нескольких последовательных звеньев. Например, растительными остатками и развивающимися на них бактериями питаются простейшие, которых поедают мелкие рачки; рачки в свою очередь служат пищей рыбам, а их могут поедать хищные рыбы. Подобных цепей можно проследить много. Любая пищевая цепь в водоеме всегда начинается либо с автотрофных растений, либо с органических остатков, которые в конечном счете являются также результатом жизнедеятельности растений.

Большинство видов питается не одним каким-нибудь типом пищи, а может использовать и другие дополнительные корма. Поэтому пищевые цепи сложно переплетены. Отсюда следует важный общий вывод: если какой-нибудь член биоценоза выпадает, то система не нарушается, так как используются другие источники пищи. В этом одна из причин устойчивости природных биоценозов. Чем больше видовое разнообразие биоценоза, тем он должен быть устойчивее.

Первичным источником энергии в водном биоценозе, как и в любой экологической системе, служит солнечный свет, за счет которого растения синтезируют органическое вещество. Очевидно, что биомасса и продуктивность всех существующих в водоеме животных полностью зависят от биологической продуктивности растений. Чем больше последняя, тем больше может быть и биомасса всех гетеротрофных видов.

Частой причиной низкой продуктивности естественных водоемов бывает недостаток минеральных веществ, необходимых для роста автотрофных растений, или неблагоприятная кислотность (рН) воды. Внесение минеральных удобрений, а в случае кислой среды известкование водоемов способствует размножению растительного планктона, которым питаются животные, служащие кормом для рыб. Таким путем удается резко повысить рыбную продуктивность водоема.

2. Биоценоз широколиственного леса. Среди наземных биоценозов одним из наиболее сложных является широколиственный лес, например дубрава.

Дубрава — очень совершенная и устойчивая экологическая система, способная при неизменных внешних условиях существовать веками. Биоценоз дубравы составляет более сотни видов растений и несколько тысяч видов животных.

Рис. 136.

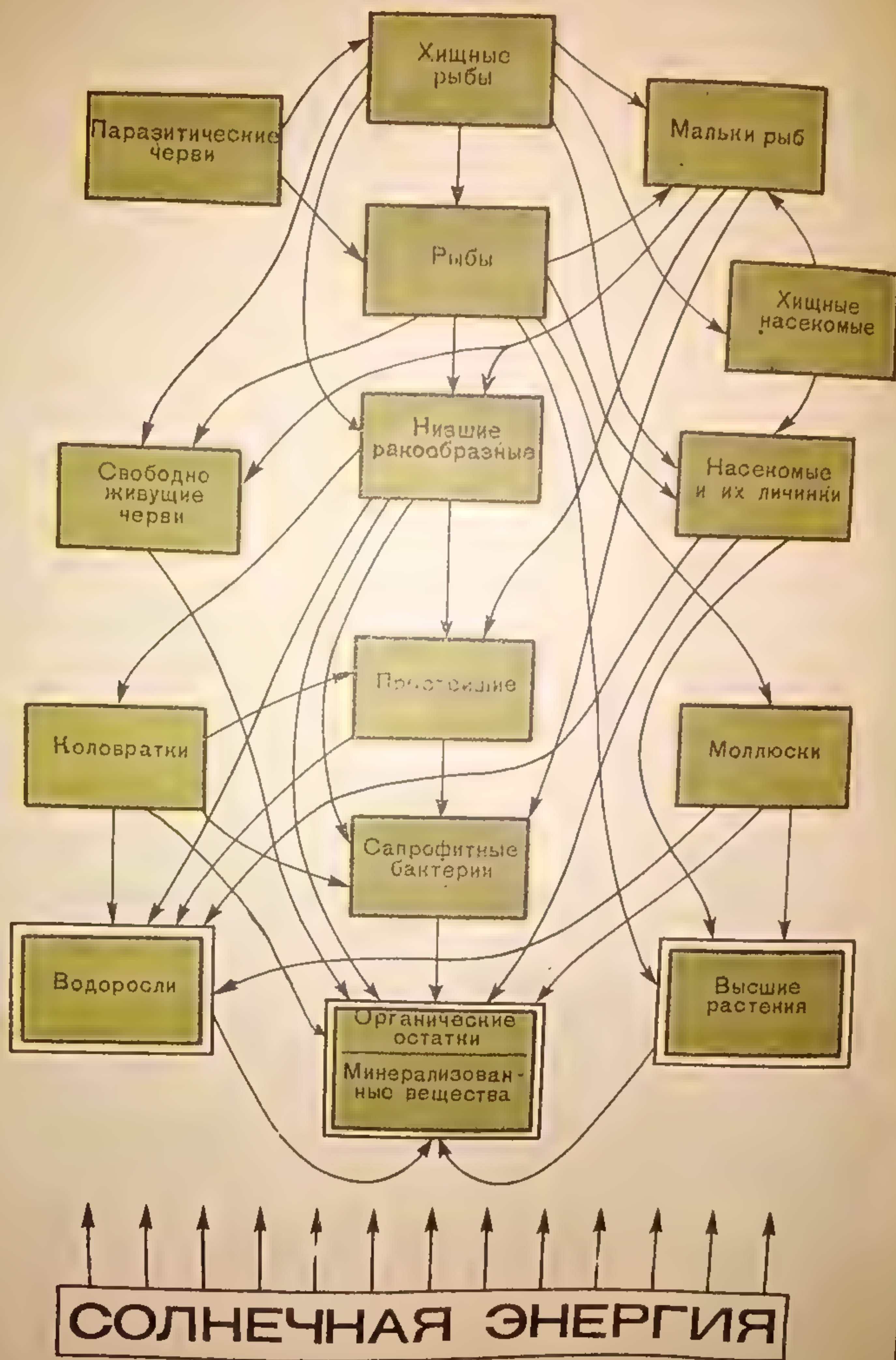


Схема основных пищевых связей в пресноводном биоценозе (стрелки направлены от потребителя к пище).

В отличие от водных биоценозов, где важную роль в первичном производстве органического вещества играют низшие растения — микроскопические водоросли, в наземных биоценозах основную биологическую продукцию создают высшие растения. В лесу это преимущественно многолетние древесные породы. Роль низших автотрофных растений (водорослей) здесь невелика.

Растения. Характерная черта лиственного леса заключается в видовом разнообразии растительности. Между растениями происходит усиленная конкуренция за основные жизненные условия: пространство, свет, воду с растворенными в ней минеральными веществами. В результате длительного естественного отбора у растений дубравы выработались приспособления, позволяющие разным видам существовать совместно. Это ярко проявляется в характерной для дубравы ярусности.

Верхний ярус образуют наиболее светолюбивые древесные породы: дуб, ясень, липа. Ниже располагаются соответствующие им менее светолюбивые деревья: клен, яблоня, груша и др. Еще ниже расположен ярус кустарников, образованный разными кустарниками: лещинкой, бересклетом, крушиной, калиной и т. п. Наконец, присутствует и ярус травянистых растений.

Чем ниже ярус, тем образующие его растения более теневыносливы.

Ярусность выражена также в расположении корневых систем; она является как бы зеркальным отражением ярусности надземных частей. Деревья верхних ярусов обладают наиболее глубокой корневой системой и могут использовать воду и минеральные вещества из глубинных слоев почвы.

Условия освещения в широколиственном лесу резко изменяются в течение года. В связи с этим среди травянистых растений выделилась очень характерная для дубрав группа так называемых весенних эфемеров. Такие растения развиваются и зацветают до распускания листьев деревьев, когда в лесу много света и достаточно почвенной влаги. Ранней весной быстро развивается ковер пролески, ветреницы, хохлатки, гусиный лук, чистяка. Их яркие цветки привлекают многочисленных светолюбивых насекомых-опылителей: шмелей, пчел.

Все эфемеры обладают луковицами или корневищами, содержащими запас питательных веществ, что обеспечивает возможность быстрого весеннего развития, которое начинается еще под снегом. Ко времени полного распускания листьев деревьев эфемеры успевают не только оплодотвориться, но и накопить запас питательных веществ в подземных частях. К концу весны надземные части большинства эфемеров отмирают, а подземные остаются в состоянии покоя до следующей весны.

Летние травянистые растения дубрав очень теневыносливы. У них преобладает белая окраска цветков, более заметная для опылителей в темном лесу. Но так как активных опылителей в лесу мало, то большинство летних дубравных трав размножается преимущественно вегетативным путем.

Дубрава относится к числу высокопродуктивных экосистем. Вследствие ее сложной многоярусности общая площадь листьев растений, произрастающих на каждом гектаре, достигает 4—6 га, т. е. в несколько раз перекрывает территорию. Такой мощный синтетический аппарат улавливает и трансформирует в потенциальную энергию созданного органического вещества около 1% годового притока солнечной радиации. Последняя в средних широтах составляет около 38 млрд. кДж/га (9 млрд. ккал/га). Почти половина синтезированного вещества расходуется самими растениями в процессе дыхания. Чистая продукция в виде прироста органического вещества в надземных частях растений составляет 5—6 т на каждый гектар за год. К этому следует добавить 3—4 т ежегодного прироста подземных частей.

Таким образом, первичная продукция достигает почти 10 т/га в год. Значительная часть этой массы (до 4 т) идет на создание листьев и других ежегодно возобновляемых частей (цветы, плоды и т. п.). Около 30% надземной продукции составляет древесина. Ее прирост можно видеть по годичным кольцам стволов. Накопленная за многие годы древесина составляет главную часть биомассы в лесу. Следующие данные показывают примерное распределение надземной биомассы на 1 га леса:

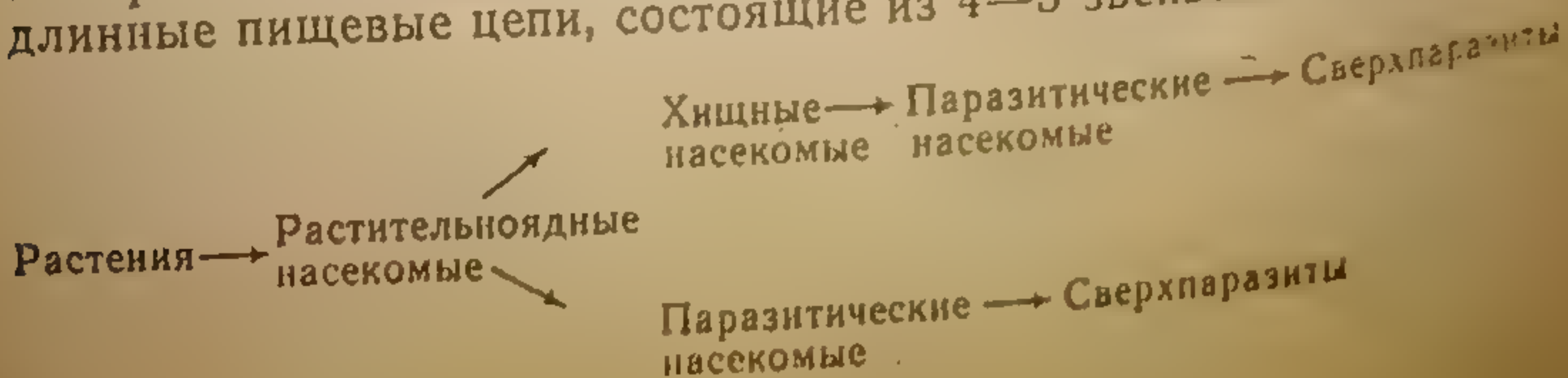
Древесные растения

листья	4 т
ветви	30 т
стволы	240 т
	1 т

Травянистые растения

Животные и цепи питания в дубравах. Богатство и разнообразие растительности, производящей громадное количество органического вещества, которое может быть использовано в качестве пищи, становится причиной развития в дубравах многочисленных потребителей из мира животных — от простейших до высших позвоночных — птиц и млекопитающих. Наиболее разнообразны здесь членистоногие, особенно насекомые. Это объясняется тем, что они приспособились к самым различным местам обитания и используют источники пищи, часто мало пригодные для других организмов.

Растительноядные насекомые служат пищей для многочисленных хищных насекомых: паукообразных и других членистоногих. Имеется и богатая фауна паразитических насекомых, главным образом перепончатокрылых: наездников и мух-тахи. Многочисленны и сверхпаразиты, т. е. виды, развивающиеся в паразитах. Таким образом, в этой группе прослеживаются длинные пищевые цепи, состоящие из 4—5 звеньев:



Сложные пищевые цепи возникают и в других группах животных. Так, насекомые служат основной пищей для насекомоядных птиц: пеночек, славок, синиц, дятлов, кукушек, которыми питаются хищные птицы, например, ястребы, соколы. Среди млекопитающих пищевую цепь, например, составляют растительноядные мышевидные грызуны и зайцы, а также копытные, за счет которых существуют хищники: ласка, горностай, куница, лиса, волк. Все виды позвоночных служат средой обитания и источником питания для различных наружных паразитов, преимущественно насекомых и клещей, а также внутренних паразитов: червей, простейших, бактерий.

Соответственно общей закономерности рассеивания энергии количество производимой биомассы резко убывает в каждом последующем звене пищевой цепи, а так как размер тела хищника обычно больше, чем жертвы, то количество особей хищников в цепи плотоядных форм убывает еще сильнее. Это видно из следующих данных. На 1 га леса количество растительноядных насекомых исчисляется миллионами особей, насекомоядных птиц в среднем 20—30 пар, а хищных меньше единицы.

Пищевые цепи в лесу переплетены в очень сложную пищевую сеть, поэтому выпадение любого-нибудь одного вида животных обычно не нарушает существенно всю систему. Значение разных групп животных в биоценозе неодинаково. Исчезновение, например, в ботанических парках дубрав всех крупных растительноядных копытных — оленей, косуль, лосей — слабо отразилось бы на общей экосистеме, так как их численность, а следовательно, биомасса никогда не была большой и не играла существенной роли в общем круговороте веществ. Но если бы исчезли растительноядные насекомые, то последствия были бы очень серьезными, так как насекомые выполняют важную в биоценозе функцию опылителей, участвуют в разрушении опада и служат основой существования многих последующих звеньев пищевых цепей.

Саморегуляции в лесном биоценозе. В лесу число видов животных-потребителей гораздо больше, чем число видов растений, за счет которых они существуют. Вместе с тем суммарная биомасса животных непропорционально мала. Следующие цифры дают представление о средней биомассе главных групп позвоночных животных в европейских заповедных лесах.

Копытные (олень, косуля, кабан)	2 кг/га
Грызуны и другие мелкие млекопитающие	5 кг/га
Птицы	1—3 кг/га

Биомассу всех позвоночных животных можно считать примерно равной 10 кг/га. Для поддержания такой биомассы животные используют незначительную часть первичной растительной продукции. Биомассы растительноядных беспозвоночных больше, чем биомассы зверей и птиц, но и они уничтожают не более 10—20% ежегодного прироста растений. Такое соотношение биомассы растений — производителей живого органического вещества и животных — его потребителей не слу-

чайно, а отражает очень важную закономерность лесного биоценоза. Оно поддерживается автоматически действующим механизмом, регулирующим численность видовых популяций в биоценозе.

Процесс саморегуляции в дубраве проявляется в том, что все разнообразное население леса существует совместно, не уничтожая полностью друг друга, а лишь ограничивая численность особей каждого вида определенным уровнем. Насколько велико в жизни леса значение такой автоматической регуляции численности, можно видеть из следующего примера.

Листьями дуба питается несколько сот видов насекомых, но в нормальных условиях каждый вид представлен столь малым количеством особей, что даже их общая деятельность не наносит существенного вреда дереву и лесу. Между тем все насекомые обладают большой плодовитостью. Количество яиц, откладываемых одной самкой, редко бывает менее 100, а некоторые, например непарный шелкопряд, откладывают 500 и даже 1000 яиц. Многие виды способны давать 2—3 поколения за лето. Следовательно, при отсутствии ограничивающих факторов численность любого вида насекомых возрастала бы очень быстро и привела бы к разрушению экологической системы.

Так как в нормальных условиях численность любого растительноядного вида незначительно колеблется около некоторого среднего уровня, то ясно, что в каждом поколении из потомства каждой пары в среднем гибнет количество, равное числу родителей, т. е. лишь две особи из отпавших погибают. Какие причины вызывают их гибель? Скорее всего, это не недостаток корма, так как он остается неизрасходованным. Наблюдения показывают, что некоторая часть потомства гибнет под влиянием различных неблагоприятных условий среды. Но основную массу уничтожают другие члены биоценоза: хищные и паразитические насекомые, птицы, болезнетворные микроорганизмы.

Такое интенсивное уничтожение в конечном счете обеспечивает совместное существование различных видов животных и растений в биоценозе, так как иначе вследствие чрезмерного размножения были бы быстро исчерпаны источники пищи. Интенсивное уничтожение приводит одновременно к отбору более жизнеспособных особей и таким образом поддерживает и совершенствует приспособленность вида к условиям среды.

Ограничивающее действие экологической системы все же не исключает полностью случаев массового размножения вредителей. Временами некоторые насекомые, например непарный шелкопряд, златогузка, листовертка, появляются в таком количестве, что полностью уничтожают листья деревьев.

Минерализация органических остатков. Очень большое значение в жизни леса имеют процессы разложения и минерализации массы отмирающих листьев, древесины, остатков животных и продуктов их жизнедеятельности.

Из общего ежегодного прироста биомассы наземных частей растений около 3—4 т естественно отмирает и опадает, образуя

так называемую лесную подстилку. Значительную массу составляют также отмершие подземные части растений. С опадом возвращается в почву большая часть потребленных растениями зольных веществ и азота. Растительный опад и животные остатки содержат богатые энергией органические вещества, поэтому к питанию ими приспособились многочисленные виды животных и сапрофитных микроорганизмов.

Животные остатки очень быстро уничтожают хищники, жуки-мертвоеды, кожееды, личинки падальных мух и другие насекомые, а также гниющие бактерии. Труднее разлагается клетчатка и другие прочные вещества, составляющие значительную часть растительного опада. Но и они служат пищей для ряда организмов, обладающих специальными ферментами, гидролизующими эти вещества до легкоусвояемых сахаров.

Последовательная деятельность многочисленных насекомых и других членистоногих, толстых червей, мизидных грибов и ряда бактерий приводит к почти полному окислению органических остатков с образованием большого количества двуокиси углерода, воды и поступающих в почву минеральных веществ.

Если сравнить, как происходит на различных пищевых уровнях первичная продукция органических веществ, то можно легко обнаружить, что в лесу происходит биоценоз. Пока синтезированное вещество находится в живых тканях растений, потребление его ограничено. Но как только растения отмирают, их деятельность прекращается разрушителями. Из-за этого, что в лесу биомасса малоактивных организмов, питающихся опадом, в несколько раз больше, чем биомасса растительных видов. Большую часть биомассы составляют дождевые черви, производящие огромную работу по разложению и перемещению органических веществ в почву. Общее число особей насекомых, панцирных клещей, червей и других беспозвоночных достигает многих десятков тысяч на гектаре леса. В разложении опада участвуют также бактерии и гниющие сапрофитные грибки. В результате деятельности всего комплекса разрушителей в дубраве формируется характерный для этого биоценоза тип почвы — серые лесные почвы.

В общем в лесном биоценозе ясно проследимы все этапы круговорота веществ и движения энергии. Протекает фотосинтетическая деятельность растений, часть органического вещества которых еще в живом состоянии используется растительноядными животными и передается другим звеньям пищевых цепей, другая часть растительного вещества, отслужив свой век, образует вместе с остатками животных опад, который минерализуется обитателями подстилки и почвы до углекислоты, воды и солей, пригодных для усвоения растениями. Неиспользованных органических остатков в дубраве почти не накапливается. Таким образом, круговорот веществ в лесу оказывается очень полным.

Лесной биоценоз, использующий солнечную энергию, в принципе неистощим как источник органического сырья. Поэтому поэтому большое внимание, которое уделяется проблеме леса, его охране, восстановлению и разумному использованию. Правильно поставленное лесное хозяйство, учитывающее особенности леса как сложной экосистемы, позволяет длительно эксплуатировать лесные массивы, не уничтожая их, а даже повышая выход хозяйственно ценной продукции.

- ? 1. В чем заключаются основные причины изменения биологической продуктивности водоемов? 2. В чем причины устойчивости лесных биоценозов (круговорот веществ, саморегуляция системы)? 3. Укажите некоторые основные цепи питания в биоценозе пресноводного водоема. 4. Укажите некоторые основные цепи питания в биоценозе лесной дубравы. 5. В чем выражаются процессы саморегуляции в биоценозе дубравы?

78. Изменения в биоценозах

Хотя биоценоз является саморегулирующейся системой, стремящейся к устойчивому состоянию, однако последнее никогда не достигается полностью. Этому препятствуют колебания внешних условий, например климатических, а также изменения, возникающие в результате жизнедеятельности организмов, составляющих биоценоз. Мы остановимся здесь на двух проявлениях изменчивости биоценоза: на изменении численности отдельных видов и на изменениях самих биоценозов.

Колебания численности. Численность популяции любого вида животных или растений представляет собой баланс рождаемости и гибели. Повышение рождаемости может вызвать такое же увеличение популяции, как и понижение числа погибающих. В природе оба показателя зависят от множества экологических факторов, действующих часто в противоположных направлениях. Поэтому численность вида всегда в какой-то мере колеблется. Особенно выражены колебания численности в популяциях животных. В результате взаимных приспособлений разных видов в биоценозе устанавливается определенный для каждого вида уровень таких колебаний. Для одних видов колебания невелики, для других могут быть значительными, и вид, редкий в данном году, может в следующем стать обычным. Знание причин, вызывающих колебания численности, особенно важно в отношении полезных и вредных животных.

Чтобы установить непосредственные причины колебания численности, необходимо знать детально биологию интересующего нас вида и его врагов, знать особенности влияния на данный вид различных экологических факторов, и, наконец, изменчивость этих факторов. Сопоставляя такие данные, можно обнаружить тот из факторов среды, который чаще и сильнее отклоняется от оптимальной для вида величины и, следовательно, ограничивает численность популяции.

Рассмотрим некоторые примеры. Численность многих видов животных зависит от изменений количества корма. Такая связь особенно заметна на видах, узко приспособленных к определенному типу пищи. Так, белка питается главным образом семенами хвойных деревьев, и поэтому численность ее сильно зависит от урожая шишек. Пища является основным ограничивающим фактором и для хищников.

Разберем взаимосвязанные колебания численности зайца-беляка и рыси в Коми АССР. Вслед за повышением количества зайцев увеличивается и количество рыси. Такая же зависимость от численности жертвы установлена для лисицы, хитрых птиц и многих других хищников. Однако не всегда количество корма служит основной причиной колебания численности вида. Так, зайцы могут питаться различными растениями и поэтому редко страдают от недостатка корма. Численность их определяется главным образом деятельностью хищников и паразитов.

Размножение растительноядных насекомых также сдерживается преимущественно хищниками, паразитами и болезнетворными микроорганизмами. Но если нормальные соотношения между растительноядными насекомыми и их врагами нарушаются, то численность первых может увеличиваться в десятки и сотни раз.

Массовые размножения вредных насекомых наносят особенно большой урон сельскому хозяйству. Часто наблюдаются также вспышки и в естественных биоценозах. Так, леса сильно страдают при размножении различных насекомых. Вспышки размножения вредителя бывают редкими или обычно длятся недолго. Численность вредителя, достигнув максимума, очень быстро снижается. Для большинства вредителей причины снижения сходны. Они заключаются в ускоренном размножении хищников и паразитов, а также в развитии различных вирусных, бактериальных и грибковых заболеваний. Действие этих биологических факторов способствует возникающей при массовых размножениях недостатку корма.

Труднее определить причины, вызывающие аномально размножения. Как правило, они связаны с прямым или косвенным действием условий погоды. Так, массовое размножение сибирского шелкопряда, наблюдающееся иногда на миллионах гектаров хвойных лесов, обычно наступает после сухого, теплого лета.

Очень большое влияние на соотношение видов в биоценозе оказывает деятельность человека. Общеизвестно, что неограниченная охота привела местами почти к полному уничтожению многих ценных промысловых зверей и птиц, например бобров, копытных, водоплавающей дичи и т. д. Но иногда деятельность человека приводит и к усиленному размножению вредных видов. Так, за последние десятилетия против вредных насекомых стали широко применяться хлороорганические инсектициды: ДДТ, гексахлоран и т. д. Вскоре выяснилось, что эти яды уничтожают не только вредных насекомых, но и большую

часть хищных и паразитических животных. Вместе с тем некоторые устойчивые к ядам сосущие насекомые и растительноядные клещи, которые прежде подавлялись хищниками, стали усиленно размножаться и вредить. Таких «новых» вредителей сейчас известно несколько десятков видов. Против них приходится применять дорогостоящие и сложные методы борьбы.

Изучение динамики численности различных организмов в биоценозе и причин, ее определяющих, необходимо для умения предвидеть и предотвращать массовое размножение вредных видов. Это одна из важных задач экологии.

Смена биоценоза. Жизнедеятельность организмов, составляющих биоценоз, постепенно и непрерывно изменяет условия обитания: почву, водный режим, микроклимат и т. д. Возникающие изменения действуют на живые элементы экологической системы, ограничивая и вытесняя одни виды растений и животных и способствуя развитию других. Это приводит к постепенной перестройке и смене биоценоза. Таким образом, любой биоценоз развивается и эволюционирует. На этот процесс сильное влияние оказывают внешние воздействия, например общее изменение климата или вмешательство человека в процессе его хозяйственной деятельности.

Ведущее значение в процессе смены биоценозов принадлежит растениям, но их деятельность неотделима от деятельности остальных членов системы, и биоценоз всегда живет и изменяется как единое целое. Знать закономерности и направление естественной смены биоценозов необходимо не только для понимания причин разнообразия окружающей нас природы, но и для управления этими процессами с целью получения наиболее производительных для человека экологических систем. Человек может активно вмешиваться в жизнь биоценоза.

Исследования показали, что смена идет в определенных направлениях, а длительность существования разных биоценозов очень различна. Чем полнее круговорот веществ в биоценозе, тем он более устойчив и долговечен. В природе смена биоценозов происходит в направлении от менее устойчивых к более устойчивым. Рассмотрим некоторые виды естественной смены биоценозов.

Примером изменения недостаточно сбалансированной системы может служить зарастание водоема. Мы видели (стр. 302), что вследствие недостатка кислорода в природных слоях воды часть органического вещества остается неокисленной и не используется в дальнейшем круговороте веществ. В глубоких местах остатки планктона откладываются на дне, образуя мелководистый, так называемый сапропелевый ил. В прибрежной зоне накапливаются остатки водной растительности, образующие торфянистые отложения. В результате водоем неизбежно мелеет, чему способствуют также отложения глины и песка, поступающие с водосборной площади. По мере заиления глубоких участков прибрежная водная растительность распространяется все дальше к центру водоема, и над илом образуются

торфянистые отложения. Так постепенно озеро превращается в болото. При этом сильно перестраивается видовой состав биоценоза. Исчезают рыбы и планктон открытых участков, многие растения и животные замещаются другими видами, более приспособленными к условиям болот. Окружающая наземная растительность постепенно надвигается на место бывшего водоема. В зависимости от местных условий здесь может возникнуть осоковый луг, лес или иной тип биоценоза.

Некоторые устойчивые биоценозы способны к самозосстановлению, которое осуществляется через ряд этапов. Примером может служить закономерная смена биоценозов при восстановлении елового леса. После вырубki или пожара условия на месте ельника настолько изменяются, что ель не может снова заселить освободившуюся площадь. На открытых местах всходы ели повреждаются поздними весенними заморозками, страдают от чрезмерного солнечного нагрева и не могут конкурировать со светолюбивыми растениями. В первые два года на вырубках и гарях бурно развиваются травянистые растения — кипрей (иван-чай), вейник и др. Вскоре появляются многочисленные всходы березы, осины, а иногда сосны, семена которых легко разносятся ветром. Они вытесняют травянистую растительность и постепенно образуют мелколиственный или сосновый лес. Только теперь возникает условия, благоприятные для возобновления ели. Теневыносливые всходы ели успешно конкурируют с подростом светолюбивых листовых пород. Когда ель достигает верхнего яруса, она полностью вытесняет листовые деревья.

Так через ряд временных биоценозов восстанавливается исходный биоценоз елового леса. Этот процесс занимает более ста лет, причем каждый последующий биоценоз долговечнее предыдущего.

Смена биоценозов — очень распространенное явление. Она служит одной из причин разнообразия их в природе. В естественных условиях такие смены всегда завершаются формированием биоценозов, длительно существующих, наиболее соответствующих данным физико-географическим условиям. Такие биоценозы называются коренными. Вмешательство человека может изменять естественные смены или задерживать их развитие на хозяйственно более ценной стадии.

Географическая зональность биоценозов. Различные типы биоценозов ярко проявляются в географической зональности экологических систем.

На территории СССР с севера на юг последовательно располагаются ряд природных зон: тундра, тайга, лиственный лес, степь, пустыня. Каждую зону характеризуют преобладающие типы коренных биоценозов. Наиболее заметно зональные изменения проявляются в растительности — ведущем компоненте биоценоза. Это сопровождается столь же сильным изменением видового состава животных-потребителей и организмов, разрушающих органическое вещество. Почва, будучи важной состав-

ной частью экосистемы и результатом ее деятельности, также меняется по географическим зонам.

Среди элементов климата, определяющих зональность экологических систем, основная роль принадлежит температуре, влажности и световому режиму. На рисунке 137 схематически показана зависимость зональных типов биоценозов от температуры и влажности.

На Крайнем Севере, в зоне тундры, условия для жизни очень суровы. Вегетационный период продолжается не более двух-трех месяцев, а средняя температура июля ниже $10-12^{\circ}\text{C}$. Почва оттаивает на небольшую глубину, а ниже сохраняется вечная мерзлота. Вследствие слабой испаряемости, даже при малом количестве осадков (менее 300 мм/мес), часто возникает заболачивание. Жизнь в тундре сосредоточена в наиболее теплом приземном слое.

К этим тяжелым условиям приспособилось немного организмов, которые образуют бедные видами своеобразные биоценозы. Растительность представлена лишайниками, мхами, низкорослыми многолетними травами и стелющимися кустарниками. Продукция растительности в тундровых биоценозах очень мала — менее 10 ц/га в год. Поэтому сравнительно беден и животный мир. Разложение органических остатков микроорганизмами из-за низкой температуры идет очень медленно, и почвы развиты слабо.

Южнее, где лето продолжительнее и теплее, а почва оттаивает полностью или на большую глубину, развивается обширная зона тайги с преобладанием биоценозов, основу которых составляют хвойные деревья: ель, пихта, сибирская сосна, а в континентальных условиях Восточной Сибири — лиственница. Темнохвойный лес может произрастать лишь в области с обильным увлажнением, нежарким летом (температура июля $15-19^{\circ}\text{C}$) и холодной, снежной зимой.

Продуктивность растительности в таежных биоценозах высока, в среднем составляет $30-40\text{ ц/га}$. В тайге сформировался богатый и очень характерный животный мир. В хвойных лесах формируются почвы подзолистого типа: бесструктурные, кислые, с малым количеством перегноя. При правильной эксплуатации богатые таежные биоценозы служат основным источником получения древесины, пушнины и ряда других ценных продуктов.

Далее к югу произрастанию хвойных деревьев препятствует недостаточная влажность воздуха и высокая температура лета (выше 19°C в июле). Тайгу постепенно заменяют леса смешанные и широколиственные, особенно разнообразные в Европе и на Дальнем Востоке. Широколиственные леса занимают зону с обильными осадками (более 450 мм/мес), умеренной температурой и четко выраженной сменой зимы и лета. Благоприятные условия привели к возникновению сложных биоценозов с высокой биологической продуктивностью. Количество образующейся растительной массы часто превышает $50-60\text{ ц/га}$.

Рис. 137.

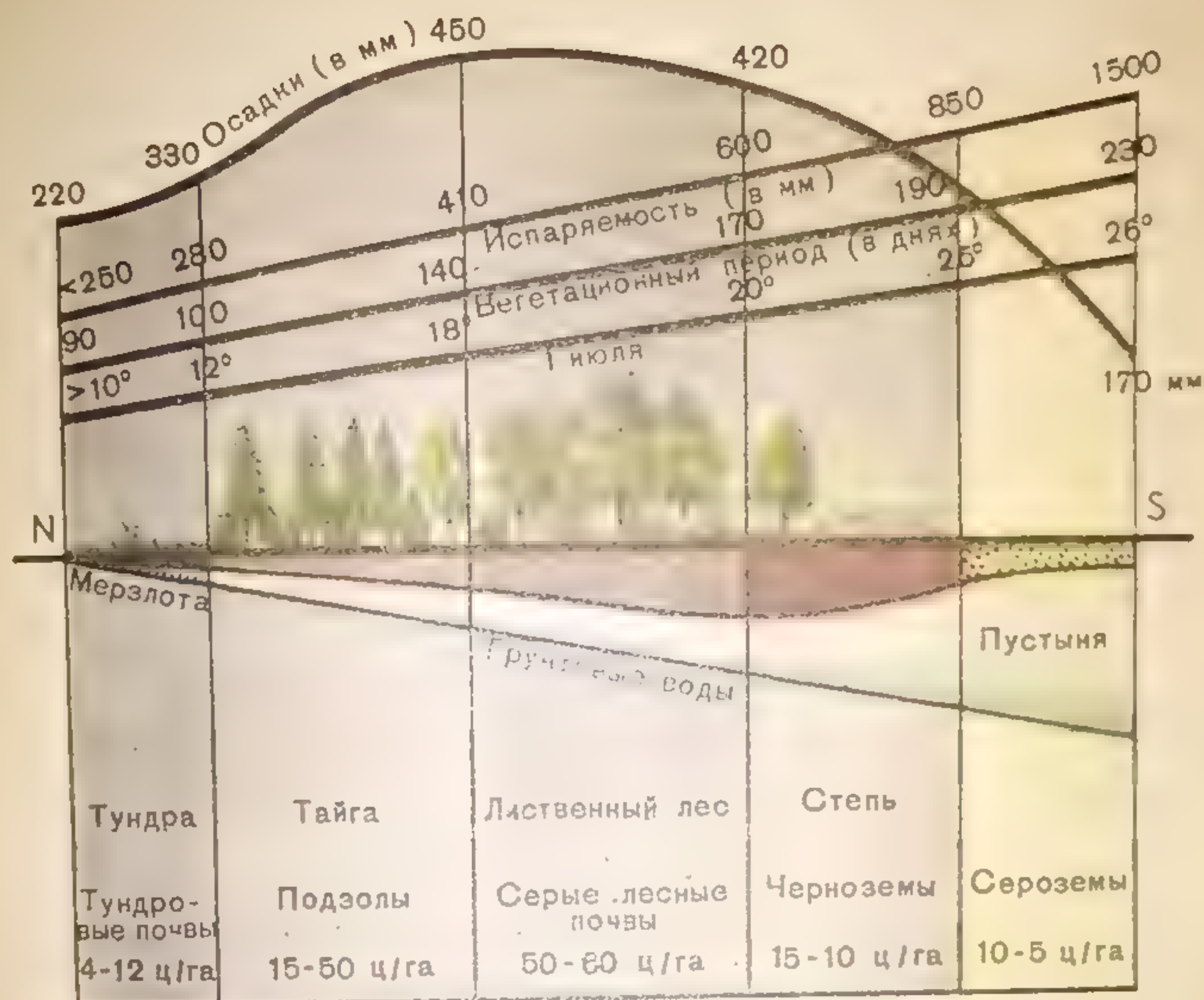


Схема зависимости зональных типов биоценозов от климатических условий.

Далее по мере уменьшения количества осадков (400--200 мм) и усиления испаряемости леса постепенно заменяется открытыми пространствами — степью. Основу биоценозов здесь составляют относительно засухоустойчивые дерновидные злаки — ковыли, типчак и мятлик — обычно с примесью различных двудольных растений. Они производят гораздо меньше органического вещества, чем леса, — всего 10–15 ц/га. Животный мир степей также здесь беднее и совершенно отличен от лесного по видовому составу. Неравномерное выпадение осадков по сезонам и летние засухи препятствуют деятельности почвенных микроорганизмов и полной минерализации органических остатков. Поэтому в степях образуются характерные черноземные почвы, очень богатые органическим веществом. Эта зона является одним из основных районов интенсивного зернового хозяйства.

Крайнее южное положение занимает зона пустынь. Здесь выпадает очень мало осадков (100–250 мм/мес), а испаряемость

очень велика (более 850 мм/мес). Средняя температура в июле превышает 26°C , а днем может достигать $40\text{--}50^{\circ}\text{C}$. В этих условиях сложились совершенно особые и очень бедные биоценозы. Растительность сильно разрежена и большая часть поверхности почвы остается оголенной. В пустынях встречаются лишь наиболее засухоустойчивые многолетние полукустарники и кустарники, реже небольшие деревья, например, саксаул, тамариск. Распространены также весенние эфемеры, использующие накопившуюся за зиму влагу и отмирающие летом. Животные пустыни также отличаются большой устойчивостью к сухости.

Описанная последовательность зон характерна лишь для континентальных стран. В районах, не испытывающих сильного недостатка в увлажнении, например в Восточной Азии, степи и пустыни отсутствуют и зона широколиственных лесов сменяется зоной вечнозеленых субтропических и наконец тропических лесов. Влажные тропические леса являются самыми богатыми по видовому составу и биологической продуктивности биоценозами.

Вертикальная зональность. Закономерная зональность биоценозов отчетливо проявляется в горах. Как известно, на каждые 100 м поднятия температура понижается в среднем на $0,5\text{--}0,6^{\circ}\text{C}$, а количество осадков обычно с высотой возрастает. Поэтому в горах климат приобретает черты, сходные с более северными районами. В соответствии с климатом закономерно изменяются и растительные зоны в том же порядке, что и в направлении к северу. Так, на Кавказе предгорные степи и полупустыни сменяются дубовыми и буковыми лесами; выше расположена зона хвойных лесов, а затем лугов; вблизи снеговой линии на осыпях развивается низкорослая альпийская растительность, в известной мере напоминающая тундровую. Интересно, что в альпийской зоне встречаются некоторые растения и животные, распространенные в тундре и отсутствующие в других зонах.

- 2 1. Приведите примеры смены биоценозов в природе. 2. В чем выражается географическая зональность биоценозов? 3. Какие основные абиотические факторы определяют географическую зональность биоценозов? 4. Приведите примеры изменения биоценозов под воздействием человека.

79. Биосфера и свойства биомассы

Биология планеты. Достижения биологической науки свидетельствуют о том, что человечество вступает в «век биологии».

В этот век особое значение приобретают знания о жизненных процессах в целом, происходящих на всей планете. Исследования космоса позволили рассматривать Землю извне и изучать окружающие ее сферы. Увеличение народонаселения на Земле требует изыскания новых пищевых ресурсов. Вредные отходы промышленности и транспорта ставят проблему не только охраны живых организмов, но и охраны чистоты вод и воздуха. В связи с этими проблемами необходимо понять роль живой природы в круговороте веществ. Главное — определить значимость живой природы как носителя и трансформатора энергии.

Зеленые растения, улавливая световые лучи Солнца, путем фотосинтеза создают органические вещества, служащие пищей и источником энергии для всех других живых организмов: незеленых растений, животных и человека. Солнечная энергия превращается в энергию жизни.

Биосфера и ее границы. Изучение многообразия форм органического мира и закономерностей его развития не будет полным без определения места и роли живых организмов в целом на планете Земля. Совокупность всех живых организмов **составляет живое вещество, или биомассу, планеты.**

Жизнедеятельность организмов изменила и изменяет земную кору и атмосферу. Растительная часть биомассы за миллиарды лет очистила атмосферу от углекислого газа, обогатила ее кислородом и привела к отложению углерода в известняках, каменных углях, нефти.

В результате эволюции вокруг Земли образовалась особая оболочка, или сфера, населенная живыми организмами. Эта земная оболочка, или область жизни, названа *биосферой* («биос» — жизнь, «сфера» — шар, *греч.*). Впервые это название было дано Ж. Б. Ламарком. Учение же о биосфере создано академиком В. И. Вернадским (1863–1945), основоположником науки — биогеохимии, связывающей химию Земли с химией жизни и установившей роль живого вещества в преобразовании земной поверхности (рис. 138).

На планете Земля различают несколько геосфер. Земная кора, или *литосфера* («литос» — камень, *греч.*), — внешняя твердая оболочка земного шара. Она состоит из двух слоев: верхнего — осадочные породы с гранитом и нижнего — базальта.

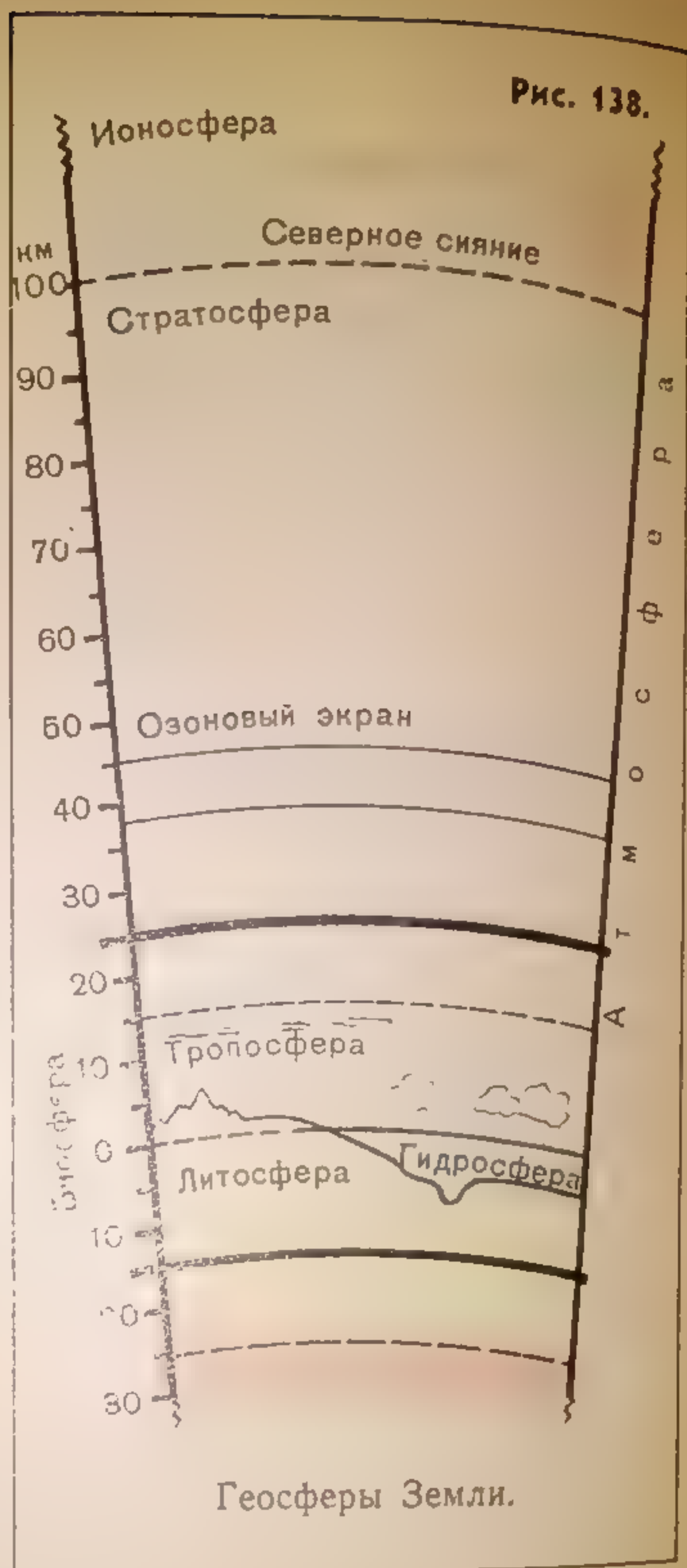
Слои в литосфере расположены неравномерно. Гранит выходит местами на поверхность (рис. 138).

Все океаны, моря (совокупность их называют Мировым океаном), составляющие 70,8% поверхности Земли, а также озера, реки образуют *гидросферу*. Мощность гидросферы в Мировом океане в среднем 4 км, в отдельных же впадинах достигает 11,5 км глубины.

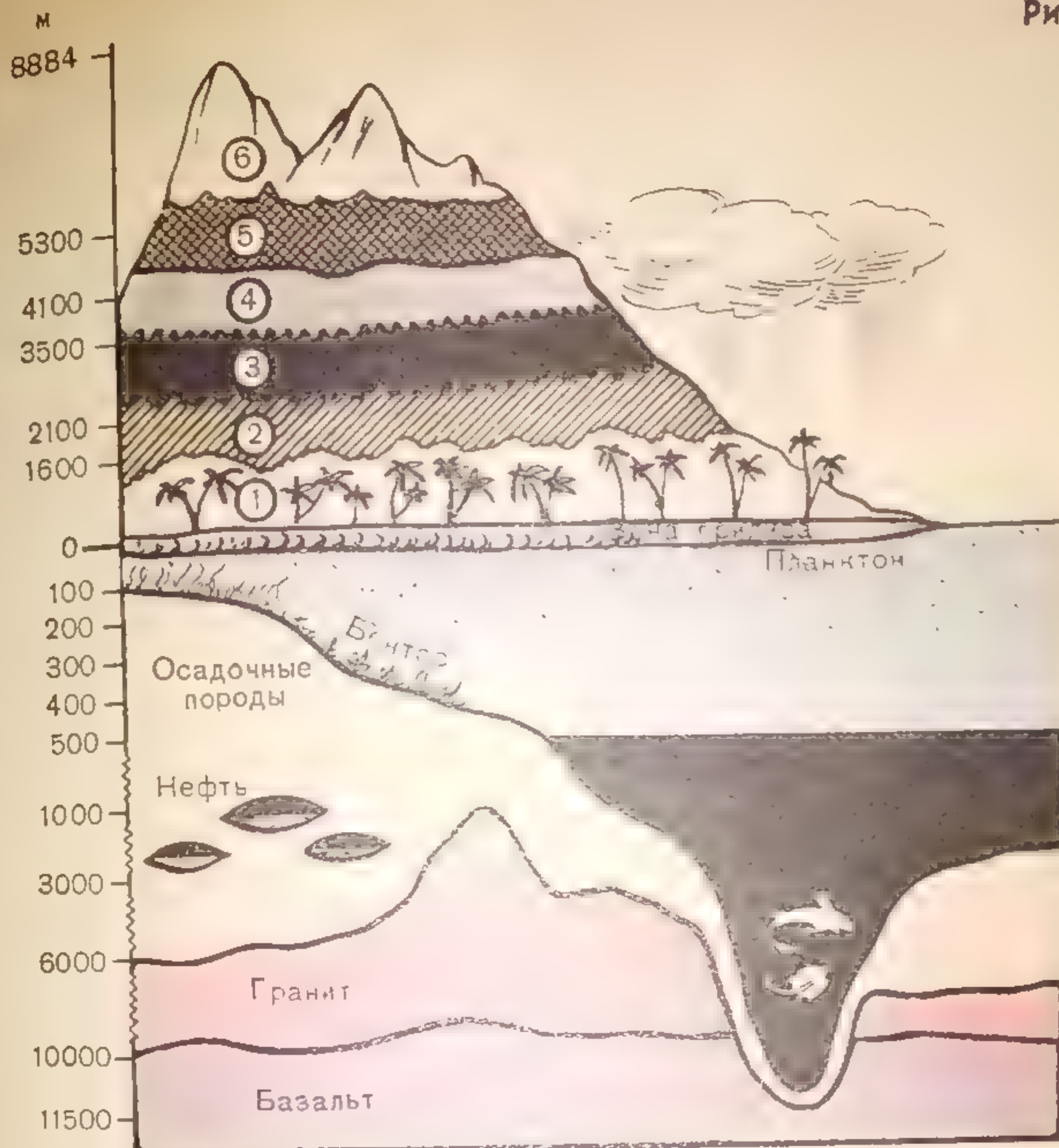
Примыкающий к поверхности Земли нижний слой атмосферы, в среднем 15 км высотой носит название *тропосферы* («тропэ» — перемена, греч.). Тропосфера включает взвешенные в воздухе водяные пары, перемещающиеся при неравномерном нагреве поверхности Земли.

Над тропосферой различают *стратосферу* («стратум» — слой, лат.) высотой до 100 км. У границы ее возникают северные сияния. В стратосфере на высоте 45 км свободный кислород под влиянием солнечной радиации превращается в озон ($O_2 \rightarrow O_3$), образующий экран, который отражает губительные для живых организмов космические излучения и частично ультрафиолетовые лучи Солнца. Выше стратосферы идет *ионосфера* — слой разреженного газа из ионизированных атомов.

Среди всех сфер Земли особое место занимает биосфера. Биосфера — геологическая оболочка, населенная живыми организмами. Она охватывает поверхность Земли, верхнюю часть литосферы, всю гидросферу, тропосферу и нижнюю часть стратосферы (рис. 138). В биосфере проявляется геологическая деятельность живого вещества: растений, животных, микроорганизмов и человечества. Границы биосферы определяются наличием условий, необходимых для жизни различных организмов (рис. 139). Верхний предел жизни биосферы ограничен интенсивной концентрацией ультрафиолетовых лучей, нижний — высокой температурой земных недр (свыше $100^\circ C$). Крайних пределов ее достигают только низшие организмы — бактерии. Споры бактерий и грибов залетают в стратосферу на высоту



20 км.
бине с
Ма
незнач
ществ
Пл
в биос
ниц с
атмос
сферы
умень
лород
менты
обусло
фотос
ших о



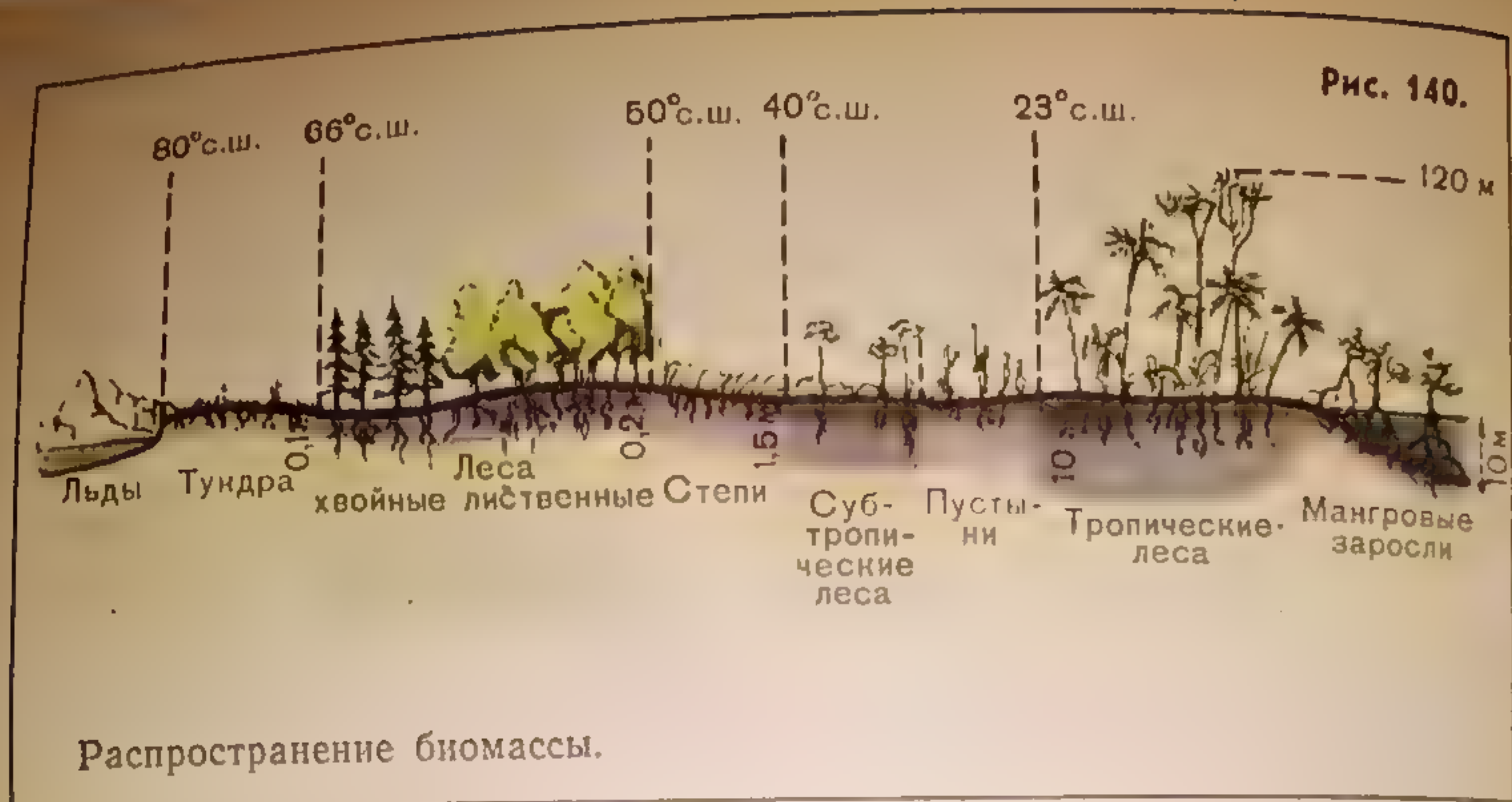
Пределы жизни в биосфере:

1 — тропические и субтропические леса; 2 — широколиственные леса; 3 — хвойные леса; 4 — альпийские луга; 5 — тундра; 6 — льды.

20 км, а анаэробных бактерий находят в земной коре на глубине свыше 3 км, в водах месторождений нефти.

Масса живого вещества по сравнению с массой земной коры незначительна. И тем не менее изменения земной коры в ее существенных чертах обусловлены жизнедеятельностью биомассы.

Плотность жизни. Наибольшая концентрация живой массы в биосфере сосредоточена у поверхности суши и океана, у границ соприкосновения литосферы и атмосферы, гидросферы и атмосферы, гидросферы и литосферы. К верхним слоям атмосферы, в глубь океана и недр литосферы концентрация жизни уменьшается. Непременные условия жизни — тепло, вода, кислород, необходимый для дыхания, и другие химические элементы, нужные для питания организмов. Накопление биомассы обуславливается освещением планеты солнечными лучами и фотосинтетической способностью зеленых растений, образующих органические вещества.



На суше Земли, начиная от полюсов к экватору, биомасса постепенно увеличивается (рис. 140). Вместе с тем возрастает и количество видов растений. Тундра с лишайниками и мхами (включающая до 500 видов) сменяется хвойными и широколиственными лесами, затем степями (до 2000 видов) и субтропической растительностью (свыше 3000 видов). Наибольшее сгущение и многообразие растений во влажных тропических лесах, в них свыше 8000 видов. Высота деревьев достигает 110—120 м. Растения растут в несколько ярусов, и эпифиты покрывают деревья. Количество и разнообразие видов животных зависит от растительной массы и тоже увеличивается к экватору. В лесах животные расселены в различных ярусах. Наивысшей плотности жизнь достигает при большом разнообразии строения организмов, т. е. при различной приспособленности к условиям совместной жизни. Особенно насыщенная плотность жизни наблюдается в сообществах — биоценозах, где организмы связаны цепями питания. Цепи питания, переплетаясь, образуют сложную сеть питания. Между организмами идет жесточайшее состязание за обладание пространством, пищей, светом, кислородом.

Организмы, составляющие биомассу, обладают громадной способностью воспроизводства — размножения и распространения по планете. В некоторые годы размножение отдельных видов вспыхивает с такой силой, что влечет нашествие громадных масс насекомых (саранча), грызунов и других животных. Захват пространства у разных организмов обусловлен разной скоростью передачи жизни новому поколению.

Мелкие организмы, особенно в водной среде, размножаются и распространяются очень быстро. Численность некоторых бактерий удваивается каждые 22 минуты. Быстро размножаются членистоногие, составляющие главную массу животных суши. При достаточном питании и свободном от других организмов пространстве вся поверхность Земли была бы с различной ско-

ростью
Энерг
«Живое
массе га
определе
ствия, м
покрыва
орган
должно
гранью,
(Верна

Плот
ходимой
редлы о
ну требу
200 м², т
В би
животну
лишь ок
различн
ре по на
занимаю
нозы по
только с
наполне
мами.

Биом
вого ве
рыхлый
ферой и
остаткам
исходит
ских вещ
ва обра
ческих с
массой
ру. В
мощност
земных
до 10 м
ревьев.
располо

ростью заселена определенными растениями или животными:

бактериями холеры	— в 1,25 суток
инфузориями (парамеция)	— в 31,8
водорослями планктона	— в 183
мухой домашней	— в течение года
клевером	— в 11 лет
крысой	— в 8 лет

Энергия биомассы особенно проявляется в размножении. «Живое вещество — совокупность организмов, — подобно массе газа, растекается по земной поверхности и оказывает определенное давление в окружающей среде, обходит препятствия, мешающие его продвижению, или ими овладевает, их покрывает. Это движение достигается путем размножения организмов... Уже К. Линней ясно видел, что это свойство должно считаться основным для живого, тон непреходимой гранью, которая отделяет его от мертвой косной материи» (Вернадский).

Плотность жизни зависит от размеров организмов и необходимой для их жизни площади. Для ряски и водоросли хлореллы она определяется площадью, равной их размерам. Слюну требуется площадь в 30 км^2 , пчеле для сбора меда — 200 м^2 , травянистым растениям в среднем — 30 см^2 почвы.

В биосфере растительная масса во много раз превышает животную. В целом биомасса в биосфере по весу составляет лишь около 0,01%, но роль ее на планете грандиозна. Среди различных биоценозов, или сообществ, особое место в биосфере по насыщенности разнообразными организмами и стойкости занимают леса, почва и Мировой океан. Своеобразные биоценозы почв покрывают почти всю поверхность суши. Почва не только среда, необходимая для жизни растений, но и биоценоз, наполненный разнообразными мельчайшими живыми организмами.

Биомасса в почве. В почве сосредоточена деятельность живого вещества, имеющая геологическое значение. Почва — рыхлый поверхностный слой земной коры, изменяемый атмосферой и организмами и постоянно пополняемый органическими остатками. Образование живого органического вещества происходит на земной поверхности, разложение же органических веществ, их минерализация — осуществляется в почве. Почва образовалась под воздействием организмов и физико-химических факторов. Мощность почвы наряду с поверхностной биомассой и под влиянием ее увеличивается от полюсов к экватору. В северных широтах особое значение имеет перегной, мощность которого в подзолистых почвах 5—10 см, а в черноземных — 1—1,5 м. Деревья распространяют корни на глубину до 10 м и более. Корневая система по объему равна кроне деревьев. Корни деревьев, кустарников, травянистых растений расположены в почве и в нижележащих слоях подпочвы яру-

сами. Между растениями в почве также идет состязание за площадь, воду, минеральные соли и воздух. На разной глубине находятся норы кротов, сусликов, сурков и других крупных животных, ходы червей, скопления насекомых и их личинок, долбящих, роющих, сверлящих почву. В разных почвах существуют свои биоценозы, невидимые с поверхности Земли. Отдельные особи проявляют совсем незаметную деятельность, но в массе все они производят огромную работу. По наблюдению Ч. Дарвина, дождевые черви, пропуская почву через свой кишечник, выносят ее на поверхность, ежегодно образуя слой в 0,5 см, массой в 25 т на 1 га.

Почва плотно заселена живыми организмами. Биомасса одних дождевых червей в суглинистых почвах достигает 2,5 млн. особей, или 1,2 т на 1 га. Количество бактерий в 1 г почвы измеряется сотнями миллионов. В ней постоянно протекают процессы изменения веществ. Вода от дождей, тающих снегов обогащает ее кислородом и растворяет минеральные соли. Часть растворов удерживается в почве, часть выносится в реки и океан. Почва испаряет поднимающуюся по капиллярам грунтовую воду. Происходит круговорот растворов и выпадение солей в разных почвенных горизонтах.

В почве происходит и газообмен. Ночью при охлаждении и сжатии газов в нее проникает большое количество воздуха. Кислород воздуха поглощается животными и растениями и входит в состав химических соединений. Проникший с воздухом азот улавливается некоторыми бактериями. Днем при нагревании почвы выделяются газы: углекислый, сероводород, аммиак. Все процессы, происходящие в почве, связаны с круговоротом веществ биосферы.

Биомасса в Мировом океане. Гидросфера Земли, или Мировой океан, занимает более $\frac{2}{3}$ поверхности планеты. Объем воды в Мировом океане в 15 раз больше возвышающейся над уровнем моря суши.

Вода обладает особыми свойствами, важными для жизни организмов. Ее высокая теплоемкость делает более равномерной температуру океанов и морей, смягчая крайние изменения температуры зимой и летом. Теплопроводность воды больше теплопроводности воздуха в 20 раз. Океан замерзает только у полюсов, но и подо льдом существуют живые организмы.

Вода — хороший растворитель. В состав воды океана входят минеральные соли, содержащие около 60 химических элементов. И что особенно важно для жизни растений и животных — в ней растворяются поступающие из воздуха O_2 и CO_2 . Водные животные выделяют при дыхании CO_2 , а водоросли при фотосинтезе обогащают воду O_2 .

Физические свойства и химический состав вод океана весьма постоянны и создают среду, благоприятную для жизни. Фотосинтез водорослей происходит главным образом в верхнем слое воды — до 100 м. Поверхность океана в этой толще за-

На океан
всей планет
ные трансф
химическую.
Взвешенн
разуют пла
водорослей
всегоногих
откармлива
Планкто
вотного мир
ния живых
ки. Рачков
щу хищным
трески. Выр
разных, мол
рыб. Питает
В океане
низмов, мно
по нему. Н
глубинный,
нов и морей
рые — фук
100—150 м;
до 200 м. М
ри — 4 м,
всеговозможн
увеличивает
стущения о
образное ст
ческом океа
верхность э
рослями с
град. исп.).
К живым
зующие р
около 2
а рассеяна
млекопитаю
организмов
ереч.).
Отмираю
ана. Много
лочками, ра
породы. Та
Центральну
лу можно
животных.
Во всей
вращающие

На океан приходится 80% фотосинтеза, происходящего на всей планете. Водоросли поверхностного слоя океана — главные трансформаторы световой энергии, превращающие ее в химическую.

Взвешенные в воде водоросли и мельчайшие животные образуют планктон («планктос» — блуждающий, *греч.*). Масса водорослей привлекает большое количество мелких животных: веслоногих рачков, оболочников, лучевиков и т. п. Здесь же откармливаются личинки животных.

Планктон имеет преимущественное значение в питании животного мира океана. В океане четко выявляются цепи питания живых организмов. Водорослями питаются веслоногие рачки. Рачков поедают сельди и другие рыбы. Сельди идут в пищу хищным рыбам и чайкам. Планктоном питаются и мальки трески. Вырастая, треска сначала употребляет в пищу ракообразных, моллюсков, червей, а затем кильку, сельдь и других рыб. Питается исключительно планктоном кит.

В океане, кроме планктона и свободно плавающих организмов, много организмов, прикрепленных ко дну и ползающих по нему. Население дна носит название бентоса («бентос» — глубинный, *греч.*). Крупные водоросли растут у берегов океанов и морей на разной глубине: зеленые — до 50—100 м; бурые — фукусы, ламинарии (дальчатые и сахарные) — до 100—150 м; красные водоросли: порфира, кораллина и др. — до 200 м. Многие из них имеют большие размеры: ламинарии — 4 м, макроцистис — до 300 м. Заросли водорослей кишат всевозможными животными. Разнообразие видов водорослей увеличивается от полюсов к экватору. В океане наблюдаются сгущения организмов: планктонное, донное, прибрежное. Своеобразное сгущение — Саргассово «море» занимает в Атлантическом океане площадь, почти равную площади Австралии. Поверхность этого «моря» покрыта плавающими крупными водорослями с воздушными пузырьками внутри («сарга» — виноград, *исп.*).

К живым сгущениям относятся и колонии кораллов, образующие рифы и острова. Однако такими сгущениями занято около 2% водной массы океана. В основном в океане биомасса рассеяна. В громадной толще воды плавают рыбы, морские млекопитающие, кальмары. Совокупность активно плавающих организмов называют нектоном («нектос» — плавающий, *греч.*).

Отмирающие организмы медленно осаждаются на дно океана. Многие из них покрыты кремневыми и известковыми оболочками, раковинами. На дне океана они образуют осадочные породы. Так, на месте моря, покрывавшего 170 млн. лет назад Центральную Европу, находят в земле известняки, мел. В мелу можно рассмотреть микроскопические раковины древнейших животных.

Во всей толще воды океана распространены бактерии, превращающие органические вещества в неорганические.

В настоящее время в ряде стран решается проблема добычи из океана пресной воды, металлов и более полного использования его пищевых ресурсов с охраной наиболее ценных животных.

Гидросфера оказывает наиболее мощное влияние на всю биосферу. Суточные и сезонные колебания нагревания поверхности суши и океана вызывают циркуляцию тепла и влаги в атмосфере и влияют на круговорот веществ во всей биосфере.

- ? 1. Что такое биосфера? 2. Охарактеризуйте плотность жизни на примере одного из биоценозов, учитывая материал XIII главы. 3. Что понимается под «давлением жизни»? 4. Каковы основные свойства биомассы? 5. Как протекает жизнь в почве? 6. Составьте схему цепи питания организмов в океане.

80. Круговорот веществ и превращение энергии в биосфере

Круговорот веществ. Живой организм в природе всегда находится во взаимосвязи с животными и растительными организмами, а также с окружающей его физико-химическими условиями.

Во всяком биоценозе эти взаимоотношения очень сложны и противоречивы. Животные и растения связаны цепями питания друг с другом и постоянным обменом веществ с окружающей неживой природой (свет, вода, тепло, воздух, химические элементы). Тем самым они включаются в круговороты веществ, происходящие в каждом биоценозе и во всей биосфере в целом. В биосфере все время совершаются круговороты воды и всех других элементов, входящих в состав живых организмов. Процесс этот длится десятки миллионов лет. «На земной поверхности нет химической силы, более постоянно действующей, а потому и более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом» (Вернадский).

Роль микроорганизмов в биосфере. Распространенность микроорганизмов в атмосфере, литосфере и гидросфере, быстрота их размножения и жизнедеятельность, влияющие на круговорот веществ, играют колоссальную роль в биосфере.

Споры некоторых бактерий сохраняют жизнеспособность при температуре -253°C и при 120°C . Маленькие и легкие микроорганизмы и споры заносятся за пределы тропосферы. Распространение бактерий обусловлено быстротой их размножения. Грамм бактерий содержит свыше 600 млрд. особей. Пожирательство одной бактерии при наличии питательных веществ и беспрепятственном размножении за 5 суток заполнило бы Мировой океан.

По роду питания и использования энергии различают следующие бактерии: хемосинтезирующие, использующие энергию

химических соединений (железобактерии, серобактерии, азотобактерии и др.); бактерии-сапрофиты, пищей которых служат органические вещества (молочнокислые, маслянокислые, уксуснокислые, гниlostные и др.); бактерии-паразиты, питающиеся за счет живых организмов (болезнетворные — туберкулеза, чумы, холеры, тифа и др.). Узкая «специализация» жизнедеятельности бактерий приводит к смене одних бактерий другими. Молочнокислые бактерии, окисляя молочный сахар, погибают в созданной ими среде молочной кислоты, но в ней поселяются маслянокислые бактерии. В почве гниlostные бактерии разлагают органические остатки, выделяя аммиак, который другие бактерии превращают в азотистую, а затем в азотную кислоту.

Наряду с накоплением в почве соединений азота нитрифицирующими (аэробными) и другими бактериями в ней происходит и обратный процесс: выделения аммиака в воздух денитрифицирующими (анаэробными) бактериями.

Л. Пастер назвал бактерии «великими могильщиками природы». Ежеминутно умирают миллионы организмов. Сгнивание мертвых тел растений и животных — величайший процесс в биосфере, вновь превращающий органические соединения в минеральные. При этом выделяется в атмосферу большое количество CO_2 и H_2S . Если зеленые растения являются производителями органического вещества, животные — его потребителями, то микроорганизмы в основном — его разрушителями. Микроорганизмы принимают участие в геохимических процессах и круговоротах веществ в биосфере.

Биогенная миграция атомов. Освобожденные при гниении микроорганизмами элементы, поступая в почву и атмосферу, снова включаются в круговорот веществ биосферы, захватываются живыми организмами, «жизненным вихрем» (Вернадский).

Исследованиями доказано, что в круговороте элементов биосферы в состав живых организмов входят одни и те же элементы (C, N, H, O, S), которые названы биофильными (жизнелюбивыми). Из неживой природы они переходят в состав растений, из растений — в животных и человека. Атомы, захваченные «жизненным вихрем», переходят из организма в организм и удерживаются в круге жизни сотни миллионов лет, что подтверждают последние данные об изотопах. В состав органических соединений входят определенные изотопы элементов. Из трех изотопов водорода ^1H , ^2H , ^3H биофильным будет первый, вступающий в реакцию в 6 раз быстрее, чем второй. В природе существует три изотопа кислорода: ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O . Кислород ^{16}O , наиболее легкий, связан с водой и фотосинтезом. Известно, что в состав органических веществ входит ^{12}C , тогда как в неорганических процессах участвует ^{13}C . В биосфере совершается постоянный круговорот биофильных элементов, переходящих из организма в организм, в неживую природу и снова в организм. Это биогенная миграция, отличающаяся от происходящих на Земле физико-химических перемещений в

водной среде (растворение элементов, передвижение растворов в почвенных, грунтовых и поверхностных водах) и атмосфере (передвижение газообразных соединений и паров воды).

Для биогенной миграции характерна аккумуляция, концентрация элементов в живых организмах. Ей противостоит процесс минерализации в результате разложения мертвых организмов. В каждом биоценозе можно наблюдать биологический круговорот элементов — аккумуляцию и минерализацию их. Образование живого вещества преобладает над минерализацией на поверхности суши и в верхних горизонтах моря при наличии зеленых растений. Растительный покров земного шара извлекает из углекислого газа атмосферы и гидросферы углерод. Минерализация же преобладает в почве и в глубинах моря. Перенос химических элементов производится дальними миграциями птиц, рыб и насекомых. Сложная цепь взаимоотношений растений и животных, передающих друг другу необходимые для жизни элементы, видна во всех биоценозах (см. § 77).

Биогенная миграция вызывается тремя процессами жизни: обменом веществ в организмах, ростом и размножением их.

Различают два рода биогенной миграции атомов: первый — миграция, производимая микроорганизмами, обладающими огромной интенсивностью размножения, и второй — многоклеточными организмами. Более мелкие организмы размножаются значительно быстрее, чем крупные, и поэтому миграция атомов первого рода превышает миграцию второго. Человечество овладело миграцией атомов третьего рода, идущей под влиянием его деятельности.

Биосфера и превращение энергии. Живое вещество Земли не только зависит от необходимых для него условий жизни, но и само охватывает и перестраивает все химические процессы биосферы, в которой одновременно происходит поступление и потеря энергии. Энергетический баланс Земли складывается из различных источников. Главнейшие из них — солнечная и радиоактивная энергия. В ходе эволюции Земли радиоактивное вещество распалось, и 3 млрд. лет назад радиоактивного тепла было в 18 раз больше. Тепло лучей Солнца, падающее на Землю, теперь значительно превосходит внутреннее тепло от радиоактивного распада.

Главнейшую роль в жизни на Земле играет непрерывно поступающий поток энергии Солнца $10,5 \times 10^{20}$ кдж/год ($2,5 \times 10^{20}$ ккал/год): 42% солнечной энергии отражается Землей в мировое пространство, 58% поглощается атмосферой и почвой. Из этого количества Землей излучается более 20%, а 10% расходуется на испарение воды с поверхности Мирового океана. Падающая на Землю солнечная энергия аккумулируется зелеными растениями (цветковыми — до 1,5—2%, водорослями — до 3,5%) и поступает в круговорот энергии биосферы.

Зеленые растения земного шара образуют в год около 100 млрд. т органических веществ и запасают в них около $1800 \cdot 10^{15}$ кдж ($450 \cdot 10^{15}$ ккал) энергии. При этом они поглощают около 170 млрд. т, выделяют около 115 млрд. т O_2 и испаряют

16·10¹² т во
трансформи
зующими о
род. Проду
ником жизн
эндотермиче
Наряду с ф
ходит почти
веществ в
нием тепла,
ровалась в
угле, нефти.
Солнечн

своим масл
ские проце
различные
и скорости
личение и
связанность
следующего
содержание
привело бы
бы потепле
таяли бы, и
затопление

В биосф
Мощность
безжизненн
ной шар. В
Биосфер
тов веществ
стоянно вл

? > 1. Нач
пользу
атомов

81. Биос

Вместе
биосферы,
ние биоген
Живые
цессе жизн
В резу
терий боле

Привод
дования при

$16 \cdot 10^{12}$ т воды¹, Солнце — источник энергии на Земле, которая трансформируется в процессе фотосинтеза растениями, образующими органические вещества и освобождающими кислород. Продукты фотосинтеза являются энергетическим источником жизни на Земле. Образование органических веществ — эндотермический процесс, окисление их — экзотермический. Наряду с фотосинтезом в зеленых растениях на Земле происходит почти равное ему по масштабу окисление органических веществ в процессах дыхания, брожения и гниения с выделением тепла, H_2O и CO_2 . Частично солнечная энергия консервировалась в земной коре в остатках организмов: в каменном угле, нефти, сапропеле (иле) и торфе.

Солнечная энергия возбуждает на Земле грандиозные по своим масштабам климатические, геологические и биологические процессы. Под влиянием биосферы она преобразуется в различные формы энергии, вызывающие огромные по размерам и скорости превращения миграции и круговороты веществ, увеличение и распространение биомассы. Грандиозность и взаимосвязанность круговорота веществ на планете Земля очевидна из следующего расчета. Без фотосинтеза растений в течение 100 лет содержание CO_2 в воздухе значительно увеличилось бы, что привело бы к гибели людей и животных. При этом произошло бы потепление климата Земли. Льды Арктики и Антарктики растаяли бы, и уровень Мирового океана поднялся на 50 м, вызвав затопление части материков.

В биосфере в течение более 2 млрд. лет идут изменения. Мощность биосферы расширяется, проникая в новые, ранее безжизненные области планеты. Биосфера охватывает весь земной шар. В нее входят все различные экосистемы (биоценозы).

Биосфера — грандиозная система биоценозов и круговоротов веществ, но система открытая, так как в нее извне постоянно вливается поток солнечной энергии.

- ? 1. Начертите схему круговорота одного из элементов в биосфере, пользуясь учебником химии. 2. Как происходит биогенная миграция атомов в биосфере?

81. Биосфера и эволюция органического мира

Вместе с эволюцией органического мира шло образование биосферы, расширение ее границ, изменение состава, ускорение биогенной миграции атомов.

Живые организмы с самого начала своего появления в процессе жизнедеятельности стали изменять окружающую среду.

В результате жизнедеятельности хемосинтезирующих бактерий более 3 млрд. лет назад началось отложение некоторых

¹ Приводимые в этой главе цифры примерные, так как научные исследования приносят все новые и новые данные.

марганцевых и железных руд, фосфоритов, серы. Первые микроорганизмы — пурпурные и зеленые бактерии, а затем сине-зеленые водоросли стали усваивать CO_2 и выделять O_2 . Уменьшение в атмосфере CO_2 и обогащение ее O_2 можно считать началом развития биосферы.

В течение длительного времени зеленое живое вещество поглотило из атмосферы громадное количество CO_2 , которого в древнейшее время было в сотни раз больше, чем теперь. В водной среде только при наличии бактерий и водорослей (фитопланктона) мог появиться зоопланктон. Известковые скелеты беспозвоночных: корненожек, кораллов, моллюсков, образовали осадочные породы (мел, известняк). Из отмирающих сине-зеленых и красных водорослей отлагался кальций. Из диатомей и губок осаждался кремнезем. Каменный уголь образовался из растительных остатков, нефть — из планктона древних морей и других водоемов.

Колоссальная размножаемость организмов увеличивала биомассу, которая распространялась по лику Земли, заполняя образуемую ею же биосферу. На Земле в разных средах в процессе эволюции образовывались самые различные биоценозы, находящиеся в постоянном взаимодействии друг с другом. Организмам для существования необходимы определенные условия внешней среды, которую они в процессе обмена веществ постоянно изменяют.

В процессе эволюции живые организмы постепенно обособлялись от непосредственной зависимости от среды. Первые организмы (бактерии, водоросли) были погружены в питательную среду.

Постепенно появились многоклеточные организмы, менее зависимые от изменений внешней среды и имеющие свою внутреннюю среду. Эти многоклеточные организмы обладают системами, регулирующими жизненные процессы: питание и пищеварение, газообмен и циркуляцию питательных веществ, поступающих в клетки, и выделение. Нервная система устанавливает контакт организма с внешней средой посредством координации восприятия раздражения, проведения возбуждения и ответной реакции. Именно развитие нервной системы, мозга животных способствовало ориентации и передвижению в пространстве. По мере эволюции возрастала скорость передачи (миграции) вещества и энергии в живой природе, в образовавшихся биоценозах.

Величие жизни становится понятнее, когда представляешь всю ее совокупность, все проявление ее на планете Земля. Знание биосферы необходимо не только для обобщения всего изученного по биологии, но и для широкого материалистического мировоззрения и понимания роли человека на Земле.

?

1. Как в процессе эволюции усложнялось строение растительных и животных организмов? (См. гл. IV.) 2. Как возникла и развивалась биосфера?

82. Роль человека в биосфере

Ноосфера. Человечество — часть биомассы биосферы — долгое время находилось в зависимости от окружающей природы. С развитием же мозга человек сам становится мощным фактором дальнейшей эволюции на Земле. Овладение человеком различными формами энергии, от механической до электрической и атомной, способствовало значительному изменению земной коры и биогенной миграции атомов. За время своего существования человечество добыло каменного угля около 50 млрд. т, железа — 2 млрд. т и миллионы тонн других металлов. Все большее и большее количество элементов вводится в миграцию атомов биосферы деятельностью человека. Особенно это проявилось во время последней войны. Год ведения войны требует десятков миллионов тонн железа, стали, цемента, нефти, сотен миллионов тонн угля и др.

Человек оказал непосредственное влияние на природу созданием каналов, водохранилищ, изменением русла рек и т. д. Эти новообразования повлияли на климат.

Деятельность человечества сказывается и на изменении состава атмосферы. Подсчитано, что 3 млрд. человек при дыхании ежегодно поглощают 1 млрд. 100 млн. т O_2 , выделяя 1 млрд. 500 млн. т CO_2 , съедают органических веществ около 1 млрд. т. Сжигание каменного угля, дров, торфа, нефти, горючих газов в промышленности поглощает 3,5 млрд. т O_2 и выделяет 4 млрд. т CO_2 и 20 000 000 млрд. ккал тепла. При использовании атомной энергии в биосферу попадают радиоактивные излучения.

Люди расселились по всему земному шару. Развитие социальной жизни человека значительно ускорило культурную эволюцию. Использование каменных орудий длилось сотни тысяч лет, а от каменного до атомного века прошло лишь несколько тысячелетий. Человечество стало главнейшей силой, изменяющей процессы в биосфере. Акад. В. И. Вернадский в учении о биосфере полагает, что в настоящее время человечество создает новую оболочку Земли — *ноосферу* («разумная оболочка» Земли). Человечество представляет сравнительно небольшую массу в биосфере, но деятельность его грандиозна. Человек уже вышел за пределы биосферы, его космические корабли достигли Луны и Венеры.

Последствия нарушения природных закономерностей. Всемирная история свидетельствует о том, что человечество не всегда разумно использовало находящиеся в его распоряжении виды энергии. Оно вело опустошительные войны, неправильно и порой преступно относилось к природе. Не зная многих закономерностей природы, нарушая их, человек часто не представляет губительных последствий своей «победы» над природой. «Не будем, однако, слишком обольщаться нашими победами над природой. За каждую такую победу она нам мстит» (Ф. Энгельс).

Многие государства древнего мира потеряли свое могущество, а иные (Хорезм, страны Сирии, Северной Африки) и совсем исчезли в результате хищнического отношения к почве. Истощение почв превращает страну в пустыню. Истребление лесов вызывает иссушение, распыление и эрозию почв. Лес задерживает ветры и испарением воды смягчает климат. Вместе с тем лес замедляет таяние снега, и талая вода постепенно увлажняет поля. Вследствие этого в реках сохраняется постоянный уровень воды и весной не бывает наводнений. Особенно нужны леса в горах. Переплетенные корни деревьев предохраняют почву от размыва, задерживают потоки, препятствуют образованию оврагов.

Хищническое истребление лесов привело к тому, что, например, во Франции в XVIII в. было 17 млн. га леса, в XIX в. осталось 8 млн. га. Сжигающий поля ветер — сирокко — распространился в Италии в результате уничтожения лесов в Апеннинах. Последствия истребления лесов — наводнения, сели (грязевые потоки с гор), смыв почвы и иссушение ее — сказываются во всех странах. Приведенные примеры и наблюдаемые факты говорят о необходимости охраны и возобновления лесов.

Наряду с этим требуется охрана чистоты вод. Промышленные предприятия, используя воду, иногда спускают в реки и озера отходы, ядовитые и вредные для животных и здоровья человека. По этой причине во многих водоемах не могут жить рыбы, растения и животные. При устройстве плотин на реках часто не учитывают того, что уже миллионы лет против течения рек идут к их истокам стаи ценных видов рыб для нереста. В результате прекращается воспроизводство рыбы. Заводы, фабрики, автомобили, самолеты задымляют атмосферу.

Испытание атомных бомб и безответственное отношение к отходам производств, основанных на атомной энергии, приводят к повышенной радиоактивности воздуха, вод и почв. Радиоактивность передается цепью питания как в океане, так и на суше. Радиоактивность в первую очередь поражает планктон и животных обитателей дна, от планктона по цепи питания передается ряду рыб. Рыбоядные птицы переносят радиоактивность на сушу. При гниении отходов она передается бактериям. Накопление радиоактивных веществ в костном мозге приводит к лейкозному, раковым заболеваниям. Чрезмерно повышенная радиоактивность воздуха, воды и почв и аккумуляция ее в различных живых организмах могут привести к массовому появлению нежизнеспособных, больных особей и к уродствам среди растений, животных и людей, многие из которых передаются по наследству.

По цепям питания происходит и отравление человека ДДТ и другими ядовитыми веществами. Опыление ДДТ растений уничтожает не только вредных насекомых, но и пчел, дождевых червей, птиц, в водоемах губит рыб. Яды, попадая на ягоды, овощи, с травой в мясо и молоко рогатого скота, на-

капли
На каждо
грации атом
Охрана
ла крайняя
водств, потр
гатств, не
сфере. Нуж
природы на
наука — ге
Санитарная
всего челове
закон «Об о
и в других
корении при
Хищниче
вое вылавли
период восст
уменьшению
106 видов к
40 видов.
В настоя
целей изме
можно пред
ных птиц п
ют лягуше
уничтожает
предотвращ
других жив
ники выпол
Неиссяка
но им необ
то знанием
условии пр
хранения в
биоценозам
ни созданы
СССР были
то большое
Организо
родных ресу
ду 50 стран
ва ценных
очистители
стоит решит
?
1. Что т
дело че
произво
истребле

капливаются в организме человека, вызывая заболевания. На каждом шагу можно встретить и вредные проявления миграции атомов через цепи питания организмов.

Охрана природы. В настоящее время во всем мире возникла крайняя необходимость наладить разумное развитие производств, потребление энергии и использование природных богатств, не нарушая закономерностей, существующих в биосфере. Нужна охрана чистоты воздуха, воды, почвы, живой природы на основе биологических знаний. Появилась новая наука — геогигиена, руководствующаяся учением о биосфере. Санитарная охрана биосферы стала важнейшей проблемой всего человечества. В 1960 г. Верховный Совет РСФСР издал закон «Об охране природы в РСФСР». Такие законы имеются и в других союзных республиках. Теперь стоит вопрос не о покорении природы, а о мире с природой.

Хищническое истребление рыбы во время нереста, массовое вылавливание мальков, отстрел птиц и пушных зверей в период воспитания потомства приводит к катастрофическому уменьшению природных богатств. За 2 тыс. лет исчезло 106 видов крупных млекопитающих, а за последние 50 лет — 40 видов.

В настоящее время на основе изучения экологии пищевых цепей изменено отношение к животным-хищникам. Их роль можно представить примерно в такой схеме. Истребление хищных птиц приводит к размножению змей, которые уничтожают лягушек, поедающих саранчу. Саранча, размножаясь, уничтожает посевы. Волки ловят слабых и больных особей, предотвращая этим эпидемические заболевания оленей и других животных. Совы, лисицы, волки, выдры и другие хищники выполняют своего рода санитарную службу в природе.

Неиссякаемыми кажутся воспроизводящие силы природы, но им необходимо разумное содействие человека, вооруженного знанием биологических закономерностей. Только при этом условии природные богатства будут приумножаться. Для сохранения в неприкосновенности ландшафтов с интересными биоценозами, редкими растениями и вымирающими животными созданы заповедники и заказники. Первые заповедники в СССР были созданы по указанию В. И. Ленина, придававшего большое значение охране природы.

Организован Международный союз охраны природы и природных ресурсов. Заключено международное соглашение между 50 странами о регулировании китобойного промысла и лова ценных рыб в океане. Изобретены газо- и дымоуловители, очистители вод. Но еще много проблем гигиены Земли предстоит решить.

1. Что такое ноосфера? 2. Какими формами энергии постепенно овладело человечество? 3. Приведите примеры геологических изменений, производимых человеком на Земле. 4. К каким последствиям приводит истребление лесов?

83. Биология и проблемы техники

Бионика. В последние годы появился большой интерес к биологии у представителей точных наук: математики, физики, химии, геологии, радиологии, кибернетики и др. Возникли новые науки: биофизика, биохимия, биогеохимия, радиобиология, космическая биология, бионика. Получило всеобщее признание положение о том, что в природе за длительную эволюцию выработались в организмах такие совершенные механизмы и приспособления, которые для техники являются пока еще недостижимым идеалом. Недавно возникшая наука *бионика* («бион» — элемент жизни, *греч.*) открывает в живых организмах интересные образцы для изучения и подражания при конструировании технических аппаратов. Бионика — наука, изучающая возможности применения в технике принципов организации и функций живых организмов. За миллионы лет до современных изобретений в природе существовали организмы, движение которых основывалось на принципах ракетного передвижения (каракатицы) и локации (полет летучих мышей в темноте, распознавание дельфинами косяков рыб на расстоянии 3 км). Инженеры вместе с биологами уже создали много аппаратов на основе принципов строения органов животных.

По принципу строения ушей тюленя создан гидрофон для улавливания звуков под водой; фасеточное строение глаза жука натолкнуло на конструкцию одометра, показывающего скорость движения самолета, и т. д. Ученых-биоников интересует, как птицы ориентируются при дальних перелетах (буревестник пролетает от о. Тристан-да-Кунья до Гренландии, т. е. 10 000 км, бекас — из Японии в Австралию — 5000 км). Рыбы при миграции проплывают большие расстояния (сельдь — 1500 км, угорь — Атлантический океан и Северное море).

Внимание авиаконструкторов привлекает легкость, конструктивность мускульного летательного аппарата птиц и насекомых, обеспечивающие минимум затраты энергии. Пчелы делают крыльями от 180 до 280 взмахов в секунду. Некоторые мелкие птицы перелетают Сахару за 30 часов, делая 5 взмахов в секунду. С большой скоростью передвигаются и другие животные: в час лев пробегает 80 км, лось — 72, страус — 90, гепард — 110, тунец проплывает 108.

Поразительна «безаварийность», легкость и точность посадки в гнездо и взлета любой птицы. Несравнимы быстрота и бесшумность погружения и поднятия к поверхности рыбы по сравнению с подводной лодкой. В настоящее время изучается эластичность кожи дельфина, преодолевающей тормозящее движение воды.

Счетные машины по сравнению с мозгом человека чрезвычайно громоздки и неэкономичны. В небольшом по объему мозгу около 14 млрд. клеток и 10 триллионов нервных волокон. Кибернетическая машина с таким количеством элементов имела бы размеры небоскреба высотой в 100 м, с основанием в

100 м² и потребовала бы электроэнергии 1 млн. квт. Исследования в области бионики имеют большое значение не только для техники, но и для биологии, поскольку позволяют понять более точно механизм функций тех или иных органов животных и растений.

Искусственные биосистемы обмена веществ. Для жизни людей в предельных условиях биосферы (на Крайнем Севере, в Антарктике, на скалистых островах), где отсутствует почва и нет возможности получать свежие витаминные растения, потребовались особые способы их выращивания. За основу взята водная культура растений, но автоматически обеспечиваемая необходимыми условиями. Система выращивания растений без почвы получила название *гидропоники* («гидро» — вода, «поника» — работа, *греч.*). Бетонированные резервуары загружаются шлаком или гравием, куда и высаживают растения. Резервуары периодически заполняются раствором минеральных солей, и корни аэрируются. Зимой применяется освещение лампами дневного света и поддерживается постоянная температура, воздух насыщается повышенным (до 2%) количеством СО₂. Все эти условия создаются автоматически. Гидропоника освобождает от трудоемкой работы с почвой и позволяет организовать производство растительных продуктов по фабричному типу. Особенно ценны те, которые приобретают искусственные биосистемы, обеспечивающие обмен веществ и получение большого количества растений из массы определенного состава при выращивании одноклеточных водорослей.

Микроскопическая водоросль пресноводного планктона хлорелла (зеленушка) привлекла внимание ученых своей большой фотосинтетической способностью. Хлорелла использует в искусственных условиях до 12% световой энергии (в естественных — до 3,5%). Урожай хлореллы в среднем — 10 г с 1 м² в сутки, что составит за 5 летних месяцев 15 т сухого вещества (до 7,5 т белка) с 1 га, а при круглогодичном возделывании — в 25 раз больше среднего урожая пшеницы и в 10 раз больше картофеля.

С хлореллой, спиролиной (сине-зеленой, нитчатой) и другими водорослями в какой-то мере связано и осуществление дальних космических полетов. Для человека в день необходимо 500—700 л кислорода, 1 л воды и 2 кг (или 500 г в сухом виде) продовольствия. При долгих полетах это будут очень большие по весу и объему величины. Поэтому в кабине космонавтов следует создавать необходимую атмосферу и пищу, т. е. нужен миниатюрный круговорот веществ.

Подходящее растение для создания такого круговорота веществ — хлорелла. При быстром ее размножении в 1 л воды получается в день 55 г сухой продукции. Водорослями можно кормить дафний, а ими — быстро растущих рыбок. Таким образом, в замкнутом мирке кабины устанавливается круговорот веществ и цепь питания. Для утилизации конечных продуктов выделения необходимо включение в круговорот бакте-

рий и некоторых физико-химических средств. Создание управляемого круговорота веществ в замкнутом пространстве позволит осуществить длительные полеты человека в космических кораблях и пребывание его на Луне и других планетах, не имеющих атмосферы. Перед новой наукой — космической биологией — стоит много проблем: обеспечение человека необходимыми для жизни в космосе условиями; преодоление опасности радиации; повышение устойчивости человеческого организма в условиях невесомости, ускорения движения, малой подвижности и т. п.; изучение психофизиологических возможностей человека по управлению космическим кораблем; изучение развития растений и животных в условиях космического полета; исследование возможных форм живой материи в условиях их существования в космосе. Многие из этих проблем уже решены.

Перспективы развития биологии. В настоящее время в СССР и других социалистических странах стоит проблема сохранения и всемерного улучшения жизни человека. В связи с этим исключительное значение приобретает дальнейшее развитие науки о жизни — биологии. Главнейшая задача биологии — обеспечить питание человечество, которое к 2000 г. увеличится примерно вдвое. Большое количество продуктов питания содержит Мировой океан, и открываются широкие возможности не только использования их, но и воспроизводства. Вылавливают около 0,3% годового прироста животных океана: китов, рыб, моллюсков. Громадные резервы питания представляют планктон и прибрежные водоросли, содержащие большой процент белков и жиров. Биологии предстоит решить вопрос о планомерном воспроизводстве как водорослей, так и животных в океане.

В Японии выращивают в настоящее время водоросли определенных видов у побережья океана. На плавающих бамбуковых стеблях японцы создают целые плантации съедобных водорослей. В воду моря около них вносят минеральные удобрения.

Большое значение имеют исследования глубин океана и возможностей жизни человека под водой. Жак Ив Кусто и сотрудники Океанографического института в Монако проводят с этой целью опыты в специальных домах на глубине 100 м. В таких домах океанавты живут под водой неделями, выходя с аквалангами для исследований на глубину до 200 м. Под руководством Кусто изобретено несколько подводных домов, опускаемых все глубже и глубже. Исследование морских глубин проводится в СССР и во многих странах мира. Пребывание человека на дне моря даст возможность культивировать водоросли, животных, добывать полезные ископаемые.

Возникает необходимость создания высокопродуктивных экологических систем, поддерживаемых человеком, а также устойчивых насаждений (биоценозов), защищающих посевные площади от ветров, засухи, песков, ливней, селей, эрозии почв

и т. п. Вместе с тем нужно ограничение хищнического использования природных ресурсов.

Особенное значение имеет исключение вредных отходов промышленности из круговорота веществ.

Управление наследственностью позволит получить сорта высокопродуктивных животных и высокоурожайных растений. Интродукция, акклиматизация и селекция все более и более мобилизуют растительные и животные ресурсы всего мира.

Другая группа проблем касается гигиены жизни человека и медицины. В связи с открытиями последних лет в области генетики получила особенное развитие селекция микроорганизмов, необходимых для организации фабричного производства антибиотиков, витаминов, стимуляторов роста. Изучение строения, обмена веществ и наследственных основ клетки помогает решать вопросы предотвращения многих заболеваний. Человек, его организм при полноценном питании, нормальных условиях жизни и труда приобретает здоровье и долголетие.

Биология оказывает влияние на технику, которая на основе изучения живых организмов создаст экономично и бесшумно действующие механизмы, не раздражающие нервную систему человека. Распространение и усвоение биологических знаний не только повлияет на охрану природы, но и станет необходимой основой при плановом использовании и воспроизводстве ее богатств. Без знания биологии немислимо проектирование изменения русла рек, создания водохранилищ, постройки ГЭС и заводов, обрабатывающих естественное сырье. При всех народнохозяйственных решениях нужен учет последствий природных изменений — влияния их на климат, человека, животный и растительный мир. «Культура, если она развивается стихийно, а не направляется сознательно, оставляет после себя пустыню» (К. Маркс).

Человек, управляющий мощной техникой и энергией, вызывает громадные изменения в биосфере и расширяет ее пределы. Биологические знания позволяют совершать это разумно, не в ущерб дальнейшей жизни на Земле.

- ?
1. Какие аппараты, моделирующие органы животных, известны вам из книг и журналов?
 2. Какой круговорот веществ в космическом корабле необходим для организма человека?
 3. Какое значение имеют биологические знания в жизни человека и будущего человеческого общества?

Юрий Иванович Полянский
Александр Давыдович Браун
Николай Михайлович Верзилин
Александр Сергеевич Данилевский
Лев Николаевич Жинкин
Вера Михайловна Корсунская
Ксения Мироновна Суханова

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

Учебник для IX и X классов

Редактор *И. Н. Соловьева.*

Переплет *В. Г. Прохорова.*

Художественные редакторы *В. И. Рывчин,*
В. Г. Ежков.

Технический редактор *Е. К. Полукарова.*

Корректор *Г. Л. Нестерова.*

Сдано в набор 29/IX 1970 г. Подписано к печати 16/II 1971 г. 60×90^{1/16}. Бумага офсетная. Печ. л. 21,0. Уч.-изд. л. 23,84. Тираж 1200 тыс. экз. (План 1971 г.).



Издательство «Просвещение» Комитета по печати при Совете Министров РСФСР. Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.



Калининский полиграфкомбинат детской литературы Росглавполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров РСФСР. Калинин, проспект 50-летия Октября, 46. Заказ № 828.



Цена без переплета 51 коп., переплет 7 коп.



Маскировка и мимикрия у насекомых:

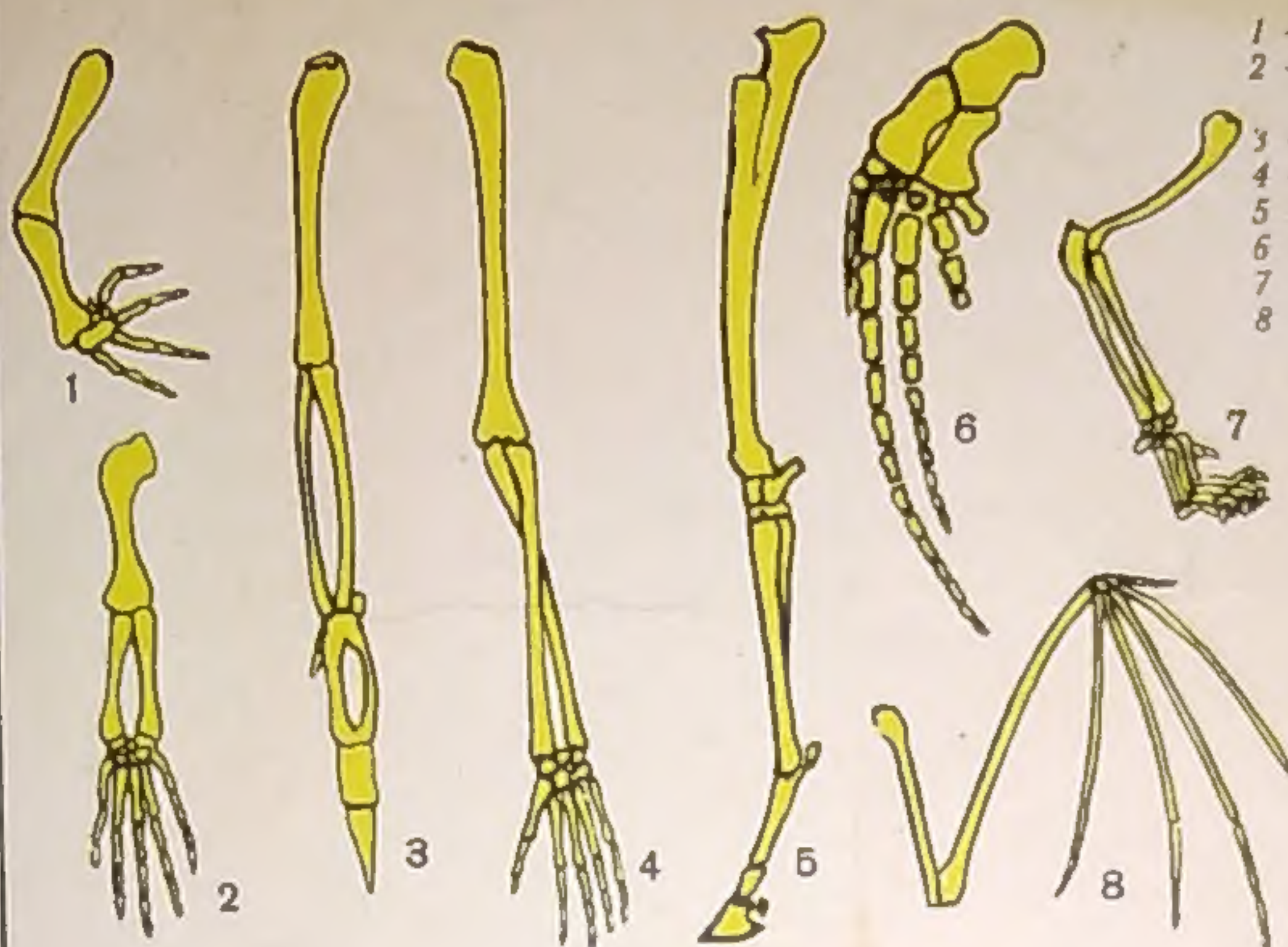
1 — богомол (форма и цвет тела напоминают листья злака); 2 — палочник (форма и цвет тела напоминают веточки дерева); 3 — цветочная муха подражает шмелю (4); 5 — бабочка ивовая стеклянница подражает шершню (6).

Го

II.
насе
1 —
2 —
3 —
4 —
5 —
6 —

Гомологичные органы:

I. Скелет передней конечности различных позвоночных животных:



- 1 — лягушки;
- 2 — варана (пресмыкающегося);
- 3 — крыла птицы;
- 4 — обезьяны;
- 5 — лошади;
- 6 — кита;
- 7 — кошки;
- 8 — летучей мыши.



II. Конечности различных насекомых:

- 1 — передняя бегательная таракана;
- 2 — задняя плавательная плавунца;
- 3 — задняя прыгательная кузнечика;
- 4 — передняя хватательная богомола;
- 5 — передняя роющая медведки;
- 6 — задняя пчелы.



III. Гомология у растений:

- 1 — корневище купены гомологично стеблю;
- 2 — усики посевного гороха — гомологи листьев;
- 3 — иглы у барбариса гомологичны листьям.